9 Trillingen en golven havo

9.1 Wat is een trilling?

1* a Wat is een trilling?
- een trilling is een periodieke beweging om een evenwichtsstand

b Wat is de trillingstijd?
- de trillingstijd is de tijd waarin één volledige trilling wordt uitgevoerd.

c Met welke letters worden de grootheid en eenheid van de trillingstijd aangegeven?
- grootheid: hoofdletter T | eenheid kleine letter s (seconde)

d Wat is de periode?
- hetzelfde als de trillingstijd

e Wat is de frequentie?
- het aantal trillingen dat per seconde wordt uitgevoerd

f Wat bedoel je met Hertz?
- Hertz (Hz) is de eenheid van de frequentie

2* a De trapper van een fiets tijdens het fietsen.
- geen trilling → wel periodieke beweging maar geen evenwichtsstand

b De beweging van je trommelvlies als je iets hoort.
- wel trilling → periodieke beweging en een evenwichtsstand

c Een robot die dozen van een lopende band pakt.
- geen trilling → wel periodieke beweging maar geen evenwichtsstand

d Eb en vloed aan de kust.
- wel trilling → periodieke beweging en een evenwichtsstand

e De beweging van een satelliet om de aarde.
- geen trilling → wel periodieke beweging maar geen evenwichtsstand

f Een kind op een schommel.
- wel trilling → periodieke beweging en een evenwichtsstand

g Een kind op een wipkip.
- wel trilling $\rightarrow$ periodieke beweging en een evenwichtsstand

h Een tak aan een boom die heen-en-weer zwiept.
- wel trilling $\rightarrow$ periodieke beweging en een evenwichtsstand

3** **a** Hoe vaak is de slinger in deze tijd in punt A geweest?
- na 10 slingeringen is de slinger 10 keer in punt A geweest

b Hoe vaak is de slinger in deze tijd in punt B geweest?
- in één periode gaat de slinger twee keer door de evenwichtsstand
- na 10 slingeringen is de slinger 20 keer in punt B geweest

c Hoe groot is de trillingstijd?
- 10 slingeringen in 4,0 seconde $\rightarrow$ 1 slingering in 0,40 s

d Bereken de frequentie.
- $T = 0{,}40\ \text{s} \quad | \quad f = \ldots \text{Hz}$
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{0{,}4} = 2{,}5\ \text{Hz}$

4** **a** Welke frequentie heeft deze machine?
- 300 steken per minuut is $\frac{300}{60} = 5{,}0$ steken per seconde
- de machine heeft een frequentie van 5,0 Hz

b Met welke frequentie draait de motor?
- 2400 toeren per minuut is $\frac{2400}{60} = 40$ toeren per seconde
- de motor heeft een frequentie van 40 Hz

5** **a** Hoeveel seconde duurt een enkele stap.
- 120 stappen per minuut $\rightarrow$ 120 stappen in 60 seconden
- één stap duurt $\frac{60}{120} = 0{,}50\ \text{s}$

b Bereken hoe lang ze daar over doen.
- iedere 0,50 s één stap van 80 cm
- iedere seconde legen de soldaten 1,6 meter af
- 10 km = 10000 m

- aantal seconden: $\dfrac{10000}{1,6} = 6250$ s
- $t = 6250 \text{ s} = \dfrac{6250}{60} = 104,16667 = 104$ minuten

6* **a** Bereken de trillingstijd.
- $f = 650 \text{ Hz} \quad | \quad T = \ldots \text{ s}$
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad T = \dfrac{1}{f}$
- $T = \dfrac{1}{650} = 0,00154$ s

7** **a** Bereken de trillingstijd.
- $f = 2,1 \cdot 10^4 \text{ Hz} \quad | \quad T = \ldots \text{ s}$
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad T = \dfrac{1}{f} \quad \rightarrow \quad T = \dfrac{1}{2,1 \cdot 10^4} = 4,76 \cdot 10^{-5}$ s

b Hoeveel trillingen bevat dit signaal?
- $t = 0,20 \text{ s} \quad | \quad f = 2,1 \cdot 10^4 \text{ Hz}$ *(f is aantal trillingen per seconde)*
- aantal trillingen $= 2,1 \cdot 10^4 \cdot 0,2 = 4,2 \cdot 10^3$

8** **a** Leg uit wat er NIET verandert als je het blokje een tijdje laat slingeren:
- de frequentie NIET: in 0,20 s van de uiterste stand naar de evenwichtsstand
- de uitwijking WEL: bij een trilling verandert de uitwijking voortdurend
- de amplitude WEL: want de trilling dempt en wordt uiteindelijk nul
- de trillingstijd NIET: in 0,20 s van de uiterste stand naar de evenwichtsstand

b Wat weet je van de snelheid in de uiterste stand?
- in de uiterste stand is de snelheid nul

c Wat weet je van de snelheid in de evenwichtsstand?
- in de evenwichtsstand is de snelheid maximaal

d Bereken de frequentie van deze slinger.
- in 0,10 s van de uiterste stand naar de evenwichtsstand
- van de uiterste stand naar de evenwichtsstand is ¼ trilling
- een hele trilling duurt $4 \cdot 0,2 = 0,8$ s
- $T = 0,80$ s
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{0,8} = 1,25 \text{ Hz}$

9** **a** Bereken de trillingstijd.

- 18 keer per minuut → 18 keer in 60 seconden
- $T = \frac{60}{18} = 3{,}333$ s

b Bereken de frequentie.

- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{3{,}333} = 0{,}30\ \text{Hz}$

10*** **a** Leg uit in welke stand je het beste de stopwatch kunt starten.

- start op de uiterste stand want dan staat het blokje even stil en dat is goed te zien

b Wie van hen voert de nauwkeurigste meting uit: Arend of Simon, of zijn beide metingen even nauwkeurig?

- vanwege de reactietijd maak je bij het indrukken van de stopwatch een kleine fout
- bij Arend komt deze meetfout in het resultaat
- bij Simon wordt deze meetfout gedeeld door 10 en komt pas daarna in het resultaat
- de meting van Simon is dus nauwkeuriger dan die van Arend

(u, t)-diagram

11** **a** Hoe groot is de amplitude?

- aflezen: maximale uitwijking → $A = 0{,}45$ cm

b Hoe groot is de trillingstijd?

- aflezen: 4 trillingen in 21 seconden
- $T = \frac{21}{4} = 5{,}25$ s

c Hoe groot is de frequentie?

- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{5{,}25} = 0{,}19\ \text{Hz}$

12** **a** Hoe groot is de amplitude?

- aflezen: maximale uitwijking → $A = 0{,}38$ cm

b Hoe groot is de trillingstijd?

- aflezen: 4 trillingen in $61 - 5 = 56$ s
- $T = \frac{56}{4} = 14$ s

c Hoe groot is de frequentie?

- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{14} = 0{,}0714\ \text{Hz}$

13** **a** Hoe groot is de amplitude?
- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow$ $A = 4{,}5$ mm

b Hoe groot is de trillingstijd?
- aflezen: 3 trillingen in 62,5 μs (microseconde)
- één trilling duurt $\dfrac{62{,}5 \cdot 10^{-6}}{3} = 20{,}8333 \cdot 10^{-6}$ s

c Hoe groot is de frequentie?
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{20{,}8333 \cdot 10^{-6}} = 48000 = 4{,}8 \cdot 10^4$ Hz

14*** **a** Hoe groot is de amplitude?
- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow$ $A = 14$ cm

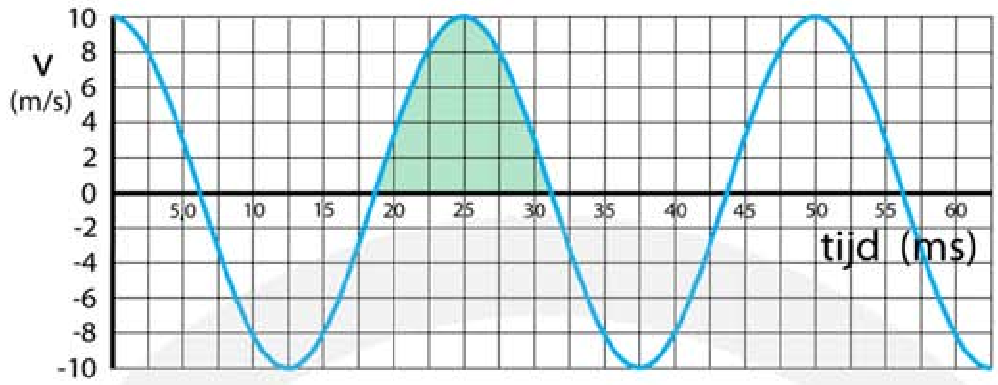
b Hoe groot is de trillingstijd?
- aflezen: 3 trillingen in 20 ms (milliseconden)
- één trilling duurt $\dfrac{0{,}020}{3} = 0{,}006667$ s

c Hoe groot is de frequentie?
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{0{,}006667} = 150\,\text{Hz}$

15*** **a** Bepaal de trillingstijd.
- aflezen: 2,5 trillingen in 62,5 seconde
- één trilling duurt $\dfrac{62{,}5}{2{,}5} = 25\,\text{ms}$

b Bepaal de frequentie.
- $T = 25\,\text{ms} = 0{,}025\,\text{s} \quad | \quad f = \ldots\,\text{Hz}$
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{0{,}025} = 40\,\text{Hz}$

c Bepaal de amplitude.
- (v, t)-diagram $\rightarrow$ afstand is de oppervlakte onder de grafiek
- uiterste stand $\rightarrow$ $v = 0$
- hokjes tellen onder de grafiek tussen 18,75 en 31,25 ms $\rightarrow$ 16 hokjes
- één hokje $s_{hokje} = 2 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3} = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ m
- afstand : $16 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-3} = 0{,}080\,\text{m}$
- van uiterste stand naar uiterste stand is twee keer de amplitude
- $A = \dfrac{0{,}08}{2} = 0{,}040$ m $\quad (= 4{,}0\,\text{cm})$



Trillingen waarnemen

16[**]

a Bepaal de trillingstijd.
- aflezen: er zijn 1,5 trillingen in 7 hokjes
- 1 hokje $= 20\ \mu s$
- 1,5 trillingen in $7 \cdot 20 = 140\ \mu s$
- 1 trilling in $\dfrac{140}{1{,}5} = 93{,}33\ \mu s$

b Bepaal de frequentie.
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{93{,}33 \cdot 10^{-6}} = 10.714\ \text{Hz} \qquad (1.07 \cdot 10^4\ \text{Hz})$

c Bepaal de amplitude.
- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow$ 4,2 hokjes
- 1 hokje $= 0{,}5\ V$
- 4,2 hokjes is $4{,}2 \cdot 0{,}5 = 2{,}1\ V$

17[***]

a Bepaal de trillingstijd.
- aflezen: er zijn 1,5 trillingen in 10 hokjes
- 1 hokje $= 5\ \mu s$
- 1,5 trillingen in $10 \cdot 5 = 50\ \mu s$
- 1 trilling duurt $\dfrac{50}{1{,}5} = 33{,}333 = 33\ \mu s$

b Bepaal de frequentie.
- $T = 33{,}333\ \mu s = 33{,}333 \cdot 10^{-6}\ s$
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{33{,}333 \cdot 10^{-6}} = 3{,}0 \cdot 10^4\ \text{Hz}$

c Bepaal de amplitude.
- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow$ 2,0 hokjes
- 1 hokje $= 0{,}2\ mV$
- 2,0 hokjes $= 0{,}40\ mV$

d Leg uit wat je moet doen met de tijdbasis.
- je hoeft niets met de tijdbasis te doen, want het signaal moet verticaal worden vergroot

e Leg uit wat je moet doen met de gevoeligheid.
- je moet de gevoeligheid 2,5 keer groter maken (wordt 0,5 mV / div)

18***

a Bepaal de trillingstijd.
- aflezen: er is 1 trillingen in 3,8 hokjes
- 1 hokje = 50 ms
- 1 trilling duurt $3{,}8 \cdot 50 = 190\ \text{ms}$

b Bepaal de frequentie.
- $T = 190\ \text{ms} = 0{,}19\ \text{s}$
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{0{,}19} = 5{,}263 = 5{,}3\ \text{Hz}$

c Bepaal de amplitude.
- aflezen: maximale uitwijking → 4,3 hokjes
- 1 hokje = 0,2 V
- 4,3 hokjes = $4{,}3 \cdot 0{,}2 = 0{,}86 \quad \rightarrow \quad A = 0{,}86\ \text{V}$

d Leg uit of je nu meer of minder trillingen op het scherm ziet.
- de tijdbasis wordt korter
- er zijn minder trillingen op het scherm te zien

19***

a Hoeveel tijd zit er tussen de punten P en T?
- tussen de punten P en T zitten 11,3 hokjes
- 1 hokje = 20 ms = 0,020 s
- $11{,}3 \cdot 0{,}02 = 0{,}226\ \text{s}$

b Hoeveel slagen geeft het hart per minuut?
- tussen twee hoge pieken zitten 25 hokjes
- 1 hokje = 20 ms = 0,020 s
- $25 \cdot 0{,}02 = 0{,}50\ \text{s}$
- 1 hartslag duur 0,50 s → aantal per minuut is $\frac{60}{0{,}5} = 120$ hartslagen

c Hoeveel millivolt is het signaal bij punt R?
- gerekend vanaf de lijn tussen twee hartslagen is de piek bij R 12 hokjes hoog
- $1\ \text{hokje} = 200\ \mu\text{s} = 200 \cdot 10^{-6}\ \text{s}$
- $12 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 2{,}4 \cdot 10^{-3}\ \text{V} = 2{,}4\ \text{mV}$

20**** **a** Hoe groot is de tijdbasis? (de tijd die hoort bij een klein hokje)

- 116 slagen per minuut → één hartslag duurt $\frac{60}{116} = 0{,}51724$ s
- tel 17,2 hokjes tussen de twee pieken
- verhoudingstabel

hokjes	17,2	1
seconden	0,51724	x

- $x = \frac{0{,}51724}{17{,}2} = 0{,}030072 = 0{,}03$ seconde per hokje

b Hoe groot is de gevoeligheid? (de spanning die hoort bij een klein hokje)

- de piek is 8 hokjes hoog
- verhoudingstabel

hokjes	8	1
millivolt	1,6	x

- $x = \frac{1{,}6}{8} = 0{,}20\ \text{mV}$ per hokje

9.2 Eigentrilling en resonantie

Massaveersysteem

1** **a** Bereken de trillingstijd als m = 400 g en C = 2,0 N/m.

- $m = 0{,}4\ kg \quad | \quad C = 2{,}0\ N/m \quad | \quad T = \ldots s$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}4}{2}} \quad \rightarrow \quad T = 2{,}8\ s$

b Bereken de trillingstijd als m = 800 g en C = 2,0 N/m.

- $m = 0{,}8\ kg \quad | \quad C = 2{,}0\ N/m \quad | \quad T = \ldots s$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}8}{2}} \quad \rightarrow \quad T = 4{,}0\ s$

c Bereken de trillingstijd als m = 400 g en C = 4,0 N/m.

- $m = 0{,}4\ kg \quad | \quad C = 4{,}0\ N/m \quad | \quad T = \ldots s$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}4}{4}} \quad \rightarrow \quad T = 2{,}0\ s$

2** **a** Bereken de massa als T = 1,0 s en C = 10 N/m.

- $T = 1{,}0\ s \quad | \quad C = 10\ N/m \quad | \quad m = \ldots kg$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{10}} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{10}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{10} \quad \rightarrow \quad 0{,}02533 = \frac{m}{10}$
- $m = 0{,}02533 \cdot 10 = 0{,}25\ kg$

b Bereken de massa als T = 2,0 s en C = 10 N/m.

- $T = 2{,}0\ s \quad | \quad C = 10\ N/m \quad | \quad m = \ldots kg$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{10}} \quad \rightarrow \quad \frac{2}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{10}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{2}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{10} \quad \rightarrow \quad 0{,}10132 = \frac{m}{10}$
- $m = 0{,}10132 \cdot 10 = 1{,}01\ kg$

c Bereken de massa als T = 1,0 s en C = 20 N/m.

- $T = 1{,}0\ s \quad | \quad C = 20\ N/m \quad | \quad m = \ldots kg$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{20}} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{20}}$

- kwadrateren: $\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{20} \quad \rightarrow \quad 0{,}02533 = \frac{m}{20}$
- $m = 0{,}02533 \cdot 20 = 0{,}51\ \text{kg}$

3*** **a** Bereken de veerconstante als T = 10 s en m = 5,0 kg.
- $T = 10\ \text{s} \quad | \quad m = 5{,}0\ \text{kg} \quad | \quad C = \ldots \text{N/m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 10 = 2\pi\sqrt{\frac{5}{C}} \quad \rightarrow \quad \frac{10}{2\pi} = \sqrt{\frac{5}{C}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{10}{2\pi}\right)^2 = \frac{5}{C} \quad \rightarrow \quad 2{,}533 = \frac{5}{C}$
- $C = \frac{5}{2{,}533} = 2{,}0\ \text{N/m}$

b Bereken de veerconstante als T = 20 s en m = 5,0 kg.
- $T = 20\ \text{s} \quad | \quad m = 5{,}0\ \text{kg} \quad | \quad C = \ldots \text{N/m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 20 = 2\pi\sqrt{\frac{5}{C}} \quad \rightarrow \quad \frac{20}{2\pi} = \sqrt{\frac{5}{C}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{20}{2\pi}\right)^2 = \frac{5}{C} \quad \rightarrow \quad 10{,}132 = \frac{5}{C}$
- $C = \frac{5}{10{,}132} = 0{,}49\ \text{N/m}$

c Bereken de veerconstante als T = 10 s en m = 10 kg.
- $T = 10\ \text{s} \quad | \quad m = 10\ \text{kg} \quad | \quad C = \ldots \text{N/m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 10 = 2\pi\sqrt{\frac{10}{C}} \quad \rightarrow \quad \frac{10}{2\pi} = \sqrt{\frac{10}{C}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{10}{2\pi}\right)^2 = \frac{10}{C} \quad \rightarrow \quad 2{,}533 = \frac{10}{C}$
- $C = \frac{10}{2{,}533} = 3{,}95\ \text{N/m}$

4** **a** Hoe groot is de trillingstijd van de auto?
- $m = 950\ \text{kg} \quad | \quad C = 4{,}0 \cdot 10^4\ \text{N/m} \quad | \quad T = \ldots \text{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{950}{4{,}0 \cdot 10^4}} \quad \rightarrow \quad T = 0{,}9683 = 0{,}97\ \text{s}$

b Hoe groot is de frequentie van de auto?
- $T = 0{,}9683\ \text{s} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{0{,}9683} = 1{,}0323 = 1{,}03\ \text{Hz}$

c Waar dienen de schokdempers bij een auto voor?
- om de trilling snel te laten stoppen (dempen)

5*** **a** Bereken de massa van de stoel.
- $f = 1{,}0\ \text{Hz} \rightarrow T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{1} = 1{,}0\ \text{s}$
- $T = 1{,}0\ \text{s} \;|\; C = 800\ \text{N/m} \;|\; m = \ldots\ \text{kg}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow 1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{800}} \rightarrow \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{800}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{800} \rightarrow 0{,}02533 = \frac{m}{800}$
- $m = 0{,}02533 \cdot 800 = 20{,}264 = 20{,}3\ \text{kg}$

b Bereken de massa van de chauffeur.
- $f = 0{,}5\ \text{Hz} \rightarrow T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{0{,}5} = 2{,}0\ \text{s}$
- $T = 2{,}0\ \text{s} \;|\; C = 800\ \text{N/m} \;|\; m = \ldots\ \text{kg}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow 2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{800}} \rightarrow \frac{2}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{800}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{2}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{800} \rightarrow 0{,}10132 = \frac{m}{800}$
- $m = 0{,}10132 \cdot 800 = 81{,}057\ \text{kg}$
- massa chauffeur: $m = 81{,}057 - 20{,}264 = 60{,}7927 = 60{,}8\ \text{kg}$

6*** **a** Beredeneer met behulp van de formule $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ hoeveel extra massa die je aan de veer moet hangen.
- T moet 2 keer zo groot worden
- $\sqrt{m}$ moet 2 keer zo groot worden $\rightarrow$ m moet 4 keer zo groot worden
- nieuwe massa is 80 gram
- je moet 60 gram toevoegen

b Leg uit of je een veer moet kiezen met een grotere of met een kleinere veerconstante.
- T moet groter worden
- C staat in de noemer van een breuk en moet dus kleiner worden

c Beredeneer met behulp van de formule $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ hoeveel groter of kleiner de veerconstante moet zijn.

- T moet 2 keer zo groot worden
- $\sqrt{C}$ moet 2 keer zo klein worden
- C moet 4 keer zo klein worden

7**** **a** Bereken de veerconstante van de veer.

- $m = 50\text{ g} = 0{,}050\text{ kg} \quad | \quad T = 0{,}80\text{ s} \quad | \quad C = \ldots\text{ N/m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$
- $0{,}8 = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}05}{C}} \quad \rightarrow \quad \frac{0{,}8}{2\pi} = \sqrt{\frac{0{,}05}{C}} \quad \rightarrow \quad 0{,}0162114 = \frac{0{,}05}{C}$
- $C = \frac{0{,}05}{0{,}0162114} = 3{,}08425 = 3{,}1\text{ N/m}$

b Bereken de lengte van de veer als er geen poppetje aan hangt.

- $C = 3{,}08425\text{ N/m} \quad | \quad m = 0{,}050\text{ kg} \quad | \quad u = \ldots\text{ m}$
- $F_z = m \cdot g \quad \rightarrow \quad F_z = 0{,}050 \cdot 9{,}81 = 0{,}4905\text{ N}$
- $F = C \cdot u \quad \rightarrow \quad u = \frac{F}{C}$
- $u = \frac{0{,}4905}{3{,}08425} = 0{,}15903\text{ m} = 15{,}9\text{ cm}$
- $\ell = \ell_0 + u \quad \rightarrow \quad \ell_0 = \ell - u$
- $\ell_0 = 20 - 15{,}9 = 4{,}1\text{ cm}$

8**** **a** Bereken de veerconstante van de spiraalveer.

- $F_z = m \cdot g \quad \rightarrow \quad F_z = 0{,}25 \cdot 9{,}81 = 2{,}4525\text{ N}$
- $F = 2{,}4525\text{ N} \quad | \quad u = 150\text{ mm} = 0{,}15\text{ m} \quad | \quad C = \ldots\text{ N/m}$
- $F = C \cdot u \quad \rightarrow \quad 2{,}4525 = C \cdot 0{,}15 \quad \rightarrow \quad C = 16{,}35\text{ N/m}$

b Hoe groot is de amplitude?

- de veer wordt 5,0 cm uitgerekt $\rightarrow$ $A = 0{,}050\text{ m}$

c Met welke trillingstijd gaat het blokje trillen?

- $m = 0{,}25\text{ kg} \quad | \quad C = 16{,}35\text{ N/m} \quad | \quad T = \ldots\text{ s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}25}{16{,}35}} \quad \rightarrow \quad T = 0{,}77695 = 0{,}78\text{ s}$

d Hoe groot is de frequentie?

- $T = 0{,}77695\ s \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{0{,}77695} = 1{,}287 = 1{,}29\ Hz$

e Hoeveel trillingen zijn er per minuut?
- het blokje maakt 1,287 trillingen per seconde
- een minuut heeft 60 seconden
- aantal trillingen per minuut: $1{,}287 \cdot 60 = 77{,}225 = 77{,}2$ trillingen per minuut

f Hoe groot zullen de trillingstijd en de frequentie nu zijn?
- de trillingstijd en de frequentie zijn onafhankelijk van de amplitude
- $T = 0{,}78\ s \quad$ en $\quad f = 1{,}29\ Hz$

g Bereken de versnelling van het blokje onmiddellijk na het loslaten.
HINT vergeet de zwaartekracht niet
- $C = 16{,}35 \quad | \quad u = 0{,}10 + 0{,}15 = 0{,}25\ m \quad | \quad F_{veer} = \ldots N$
- $F_{veer} = C \cdot u \quad \rightarrow \quad F = 16{,}35 \cdot 0{,}25 = 4{,}0975\ N$
- $\Sigma F = F_{veer} - F_Z = 4{,}0875 - 2{,}4525 = 1{,}635\ N$
- $\Sigma F = m \cdot a$
- $1{,}635 = 0{,}25 \cdot a \quad \rightarrow \quad a = 6{,}54\ m/s^2$

h Leg uit of de maximale snelheid bij een amplitude van 10 cm groter, kleiner of gelijk is aan de maximale snelheid bij een amplitude van 5,0 cm.
- als de trillingstijd gelijk blijf en de amplitude groter is moet het blokje in dezelfde tijd een grotere afstand afleggen
- de gemiddelde snelheid is groter bij een grotere amplitude

9** **a** Leg uit of het blokje een harmonische trilling gaat uitvoeren.
- 1,0 cm bij 0,3 N | 5,0 cm bij 2,0 N
- $5 \cdot 0{,}3 = 1{,}5\ N$ en dat is niet gelijk aan 2,0 N
- er is geen recht evenredig verband tussen de kracht en de uitrekking
- het blokje gaat geen harmonische trilling uitvoeren

10**** **a** Leg uit of de steen een harmonische trilling gaat uitvoeren.
- de grafiek voldoet aan: $F_{res} = -C \cdot u$
- recht-evenredig verband met negatieve richtingscoëfficiënt
- het blokje gaat een harmonische trilling uitvoeren

b Schets de (u, t)-grafiek van de steen.
- op t=0 is de uitrekking 5,0 cm
- teken één sinus met een periode van 2,0 s

c Schets de (F, t)-grafiek van de steen.
- op t=0 is de kracht -4,0 N
- teken één sinus met een periode van 2,0 s

d Schets de (v, t)-grafiek van de steen.
- op t=0 is de snelheid 0 m/s
- teken één sinus met een periode van 2,0 s

e Bereken de massa van het de steen.
- aflezen: $C = \frac{F}{u} \rightarrow C = \frac{4}{0{,}05} = 80\ \text{N/m}$ *(geen minteken gebruiken)*
- $T = 2{,}0\ \text{s}\ \mid\ C = 80\ \text{N/m}\ \mid\ m = \ldots\ \text{kg}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$
- $2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{80}} \rightarrow \frac{2}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{80}} \rightarrow 0{,}31831^2 = \frac{m}{80}$
- $m = 0{,}31831^2 \cdot 80 = 8{,}1\ \text{kg}$

11** a** Geef het wiskundig verband tussen de resulterende kracht en de uitwijking.
- de dobber tril harmonisch
- voor een harmonische trilling geldt: $F_{res} = -C \cdot u$

b Bereken de veerconstante.
- $u = 2{,}0\ \text{cm} = 0{,}020\ \text{m}\ \mid\ F = 0{,}028\ \text{N}\ \mid\ C = \ldots\ \text{N/m}$
- $C = \frac{F}{u} \rightarrow C = \frac{0{,}028}{0{,}02} = 1{,}4\ \text{N/m}$

c Hoeveel centimeter gaat de dobber naar beneden?
- $F = 0{,}028\ \text{N}\ \mid\ C = 1{,}4\ \text{N/m}\ \mid\ u = \ldots\ \text{m}$
- $F = C \cdot u \rightarrow u = \frac{F}{C}$
- $u = \frac{0{,}020}{1{,}4} = 0{,}01429 = 0{,}014\ \text{m} = 1{,}4\ \text{cm}$

d Hoeveel gram weegt de dobber?
- $C = 1{,}4\ \text{N/m}\ \mid\ T = 1{,}2\ \text{s}\ \mid\ m = \ldots\ \text{kg}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$
- $1{,}2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1{,}4}} \rightarrow \frac{1{,}2}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{1{,}4}} \rightarrow 0{,}190986^2 = \frac{m}{1{,}4}$
- $m = 0{,}190986^2 \cdot 1{,}4 = 0{,}051\ \text{kg} = 51\ \text{gram}$

Slinger

12** **a** Bereken de trillingstijd als $\ell = 2{,}0$ m.

- $\ell = 2{,}0\,\text{m}$ | $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$ | $T = \ldots\,\text{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\dfrac{2{,}0}{9{,}81}} = 2{,}837 = 2{,}8\,\text{s}$

b Bereken de frequentie als $\ell = 4{,}0$ cm.

- $\ell = 4{,}0\,\text{cm} = 0{,}040\,\text{m}$ | $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$ | $T = \ldots\,\text{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\dfrac{0{,}040}{9{,}81}} = 0{,}4012\,\text{s}$
- $f = \dfrac{1}{T} \rightarrow f = \dfrac{1}{0{,}4012} = 2{,}4924 = 2{,}5\,\text{Hz}$

13** Voor een slinger geldt: $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$

a Bereken de lengte als $T = 4{,}0$ s.

- $T = 4{,}0\,\text{s}$ | $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$ | $\ell = \ldots\,\text{m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}} \rightarrow 4 = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{9{,}81}} \rightarrow \dfrac{4}{2\pi} = \sqrt{\dfrac{\ell}{9{,}81}}$
- kwadrateren: $\left(\dfrac{4}{2\pi}\right)^2 = \dfrac{\ell}{9{,}81} \rightarrow 0{,}40528 = \dfrac{\ell}{9{,}81}$
- $\ell = 0{,}40528 \cdot 9{,}81 = 3{,}9758 = 4{,}0\,\text{m}$

b Bereken de lengte als $T = 1{,}8$ minuten.

- $T = 1{,}6\,\text{minuten} = 96\,\text{s}$ | $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$ | $\ell = \ldots\,\text{m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}} \rightarrow 96 = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{9{,}81}} \rightarrow \dfrac{96}{2\pi} = \sqrt{\dfrac{\ell}{9{,}81}}$
- kwadrateren: $\left(\dfrac{96}{2\pi}\right)^2 = \dfrac{\ell}{9{,}81} \rightarrow 233{,}444 = \dfrac{\ell}{9{,}81}$
- $\ell = 233{,}444 \cdot 9{,}81 = 2290\,\text{m}$ (2,29 km)

c Bereken de lengte als $T = 25$ ms (milliseconden).

- $T = 25\,\text{ms} = 0{,}025\,\text{s}$ | $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$ | $\ell = \ldots\,\text{m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}} \rightarrow 0{,}025 = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{9{,}81}} \rightarrow \dfrac{0{,}025}{2\pi} = \sqrt{\dfrac{\ell}{9{,}81}}$
- kwadrateren: $\left(\dfrac{0{,}025}{2\pi}\right)^2 = \dfrac{\ell}{9{,}81} \rightarrow 1{,}583 \cdot 10^{-5} = \dfrac{\ell}{9{,}81}$
- $\ell = 1{,}583 \cdot 10^{-5} \cdot 9{,}81 = 1{,}553 \cdot 10^{-4}\,\text{m}$ (0,1553 mm)

14** **a** Wie heeft er gelijk, Ella, Sofie of geen van beiden?
- de amplitude is de maximale uitwijking en is 1 meter
- Ella en Sofie hebben beiden geen gelijk

b Wanneer is tijdens het schommelen de snelheid nul?
- in de uiterste stand is de snelheid nul

c Wanneer is tijdens het schommelen de snelheid maximaal?
- in de evenwichtsstand is de snelheid maximaal

d Wie heeft de grootste trillingstijd, Ella, Sofie of is de trillingstijd gelijk?
- voor de trillingstijd van een slinger geldt: $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$
- in de formule komt de massa niet voor
- de trillingstijd is voor beiden gelijk

15** **a** Bereken de trillingstijd van deze slinger.
- $\ell = 67\,\text{m}$ | $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$ | $T = \ldots\,\text{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{67}{9{,}81}} = 16{,}42 = 16\,\text{s}$

b Bereken de frequentie van deze slinger.
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{16{,}42} = 0{,}0609\,\text{Hz}$

16*** **a** Bereken voor iedere slinger de trillingstijd.
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ met $\ell = 1{,}0\,\text{m} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{g}} = 2{,}0\,\text{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ met $\ell = 4{,}0\,\text{m} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{4}{g}} = 4{,}0\,\text{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ met $\ell = 9{,}0\,\text{m} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{9}{g}} = 6{,}0\,\text{s}$

b Bereken de verhouding van de trillingstijden.
- verhouding lentes 1 : 4 : 9
- verhouding trillingstijden 1 : √4 : √9 = 1 : 2 : 3

17**** **a** Bereken de lengte van de kabel.
- tussen het loslaten en het botsen tegen de muur voort de kogel voert ¼ trilling uit
- $\frac{1}{4}T = 2{,}6\,\text{s} \rightarrow T = 10{,}4\,\text{s}$

- $T = 10{,}4\ s \quad | \quad g = 9{,}81\ m/s^2 \quad | \quad \ell = \ldots m$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad \rightarrow \quad 10{,}4 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{9{,}81}} \quad \rightarrow \quad \frac{10{,}4}{2\pi} = \sqrt{\frac{\ell}{9{,}81}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{10{,}4}{2\pi}\right)^2 = \frac{\ell}{9{,}81} \quad \rightarrow \quad 2{,}73972 = \frac{\ell}{9{,}81}$
- $\ell = 2{,}73972 \cdot 9{,}81 = 26{,}8767 = 27\ m$

Resonantie

18** **a** Leg uit waardoor er versterking optreedt.
- de trillende stemvork is de aandrijvende kracht voor het raam
- resonantie $\rightarrow$ het raam gaat met dezelfde frequentie meetrillen
- de amplitude van het trillende raam wordt groot
- grote amplitude $\rightarrow$ hard geluid

b Leg uit waarom dit het geval is.
- trillingsenergie wordt van de stemvork naar het raam overgedragen
- de stemvork verliest snel zijn trillingsenergie
- het raam draagt trillingsenergie over op de lucht
- het raam verliest snel zijn trillingsenergie

19** **a** Leg uit wat met resonantie wordt bedoeld.
- door een uitwendige kracht gaat een voorwerp trillen
- als de aandrijffrequentie gelijk is aan de eigenfrequentie treedt er resonantie op
- bij resonantie wordt de amplitude van het trillende voorwerp heel groot

b Bereken de lengte van slinger 2.
- het bewegen van slinger 1 is de aandrijvende kracht voor slinger 2
- resonantie: $f_{eigen\ 1} = f_{eigen\ 2}$
- slingers hebben dezelfde trillingstijd $\rightarrow T_1 = T_2$
- $2\pi\sqrt{\frac{\ell_1}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_2}{g}}$ *(merk op dat de massa er niet toe doet)*
- resonantie als $\ell_1 = \ell_2 \quad \rightarrow \quad \ell_2 = 1{,}5\ m$

20**** **a** Bereken de massa van de auto met chauffeur.
- $s = 10\ m \quad | \quad v_{gem} = 12\ m/s \quad | \quad t = \ldots s$
- $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 10 = 12 \cdot t \quad \rightarrow \quad t = 0{,}83333\ s$
- $T_{aandrijf} = T_{eigen} = 0{,}83333\ s$

- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$
- $0{,}83333 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{5{,}0 \cdot 10^4}} \quad \rightarrow \quad \frac{0{,}83333}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{5{,}0 \cdot 10^4}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{0{,}83333}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{6{,}0 \cdot 10^4} \quad \rightarrow \quad 0{,}01759 = \frac{m}{5{,}0 \cdot 10^4}$
- $m = 0{,}01759 \cdot 5{,}0 \cdot 10^4 = 879{,}524 = 880\ \text{kg}$

b Bereken bij welke snelheid er nu resonantie optreedt.
- $m_{nieuw} = 880 + 150 = 1030\ \text{kg}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{1030}{5{,}0 \cdot 10^4}} = 0{,}9018\ \text{s}$
- $s = 10\ \text{m} \quad | \quad t = 0{,}9018\ \text{s} \quad | \quad v_{gem} = \ldots\ \text{m/s}$
- $s = v_{gem} \cdot t$
- $10 = v_{gem} \cdot 0{,}9018 \quad \rightarrow \quad v_{gem} = 11\ \text{m/s}$

9.3 Lopende golven

1** **a** Leg uit of deze golf transversaal of longitudinaal is.
- de beweging van de mensen is verticaal en de golf beweegt horizontaal
- het is een transversale golf

b Bereken de snelheid waarmee de golf beweegt.
- $s = 50\text{ cm} = 0{,}50\text{ m} \quad | \quad t = 0{,}40\text{ s} \quad | \quad v_{gem} = \ldots\text{ m/s}$
- $s = v_{gem} \cdot t$
- $v_{gem} = \dfrac{0{,}5}{0{,}4} = 1{,}25\text{ m/s}$

c Bereken hoe lang de golf erover doet om één keer rond te gaan.
- $s = 400\text{ m} \quad | \quad v = 1{,}25\text{ m/s} \quad | \quad t = \ldots\text{ s}$
- $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 400 = 1{,}25 \cdot t \quad \rightarrow \quad t = 320\text{ s}$

2** **a** Leg uit of de eendjes hierdoor horizontaal of verticaal gaan bewegen.
- de golf is transversaal
- de eendjes gaan verticaal bewegen

b Leg uit of de afstand tussen de kuikens na de golf groter is geworden, kleiner is geworden of gelijk is gebleven.
- de beweging van de eend en de kuikens is alleen verticaal
- als de golf voorbij is is de afstand tussen de kuikens gelijk gebleven

3*** **a** Leg uit hoe punt A zijn beweging is begonnen, vanuit de evenwichtsstand omhoog of omlaag.
- de golf beweegt van links naar rechts
- aan de rechterkant begint het koord omlaag te bewegen
- punt A is ook begonnen met een beweging omlaag

b Bepaal hoeveel trillingen B heeft uitgevoerd.
- kijk van rechts naar links (tegen de bewegingsrichting van de golf)
- tel 1¾ trilling
- B heeft 1¾ trilling uitgevoerd

c Bepaal hoeveel trillingen C heeft uitgevoerd.
- kijk van rechts naar links (tegen de bewegingsrichting van de golf)
- tel ½ trilling
- C heeft ½ trilling uitgevoerd

d De snelheid van punt B is op dit moment nul. Leg dit uit.
- B heeft de maximale uitwijking
- B gaat omlaag bewegen, zijn bewegingsrichting keert om
- op dat moment staat punt B heel even stil

e Geef met een pijl de richting van de snelheid van punt C aan.
- kijk aan de linkerkant van C (tegen de richting van de golf)
- er komt een golfberg aan
- C gaat omhoog bewegen
- teken een pijl die begint in punt C en verticaal omhoog gaat

f Leg uit of de hoeveelheid energie in het koord groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft.
- er is geen demping $\rightarrow$ de energie in het koord blijft gelijk

g Leg uit of de amplitude waarmee punt C trilt groter, kleiner of gelijk is aan de amplitude van punt B.
- er is geen demping
- alle punten van het koord hebben dezelfde amplitude

h Leg uit of de hoeveelheid energie in het koord groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft.
- er is demping
- energie wordt omgezet in warmte $\rightarrow$ de energie in het koord wordt kleiner

i Leg uit of de amplitude waarmee punt C trilt groter, kleiner of gelijk is aan de amplitude van punt B.
- er is demping
- grotere afstand van de trillingsbron
- in de tijd waarin de golf van B naar C beweegt verliest het koord energie
- C heeft een kleinere amplitude dan B

4* **a** Hoe groot is de frequentie?
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{5} = 0{,}20\ \text{Hz}$

b Hoe groot is de golfsnelheid?
- $f = 0{,}20\ \text{Hz} \quad | \quad \lambda = 7{,}5\ \text{m} \quad | \quad v_{golf} = \ldots\ \text{m/s}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $v_{golf} = 0{,}2 \cdot 7{,}5 = 1{,}5\ \text{m/s}$

5** **a** Hoe lang doet de golf erover om van het schip naar de oever te gaan?
- $v_{golf} = 2{,}3\ \text{m/s} \quad | \quad s = 46\ \text{m} \quad | \quad t = \ldots\ \text{s}$

- $s = v_{gem} \cdot t$ met $v_{gem} = v_{golf}$
- $46 = 2{,}3 \cdot t \rightarrow t = 20\ s$

b Bereken de golflengte van de golf.

- $T = 0{,}80\ s \rightarrow f = \dfrac{1}{0{,}8} = 1{,}25\ Hz$
- $f = 1{,}25\ Hz$ | $v_{golf} = 2{,}3\ m/s$ | $\lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $2{,}3 = 1{,}25 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 1{,}84\ m$

c Hoeveel golven zijn er tussen het schip en de oever?

- $\lambda = 1{,}84\ m$ | $s = 46\ m$ | aantal golven $= \ldots$
- aantal golven $= \dfrac{46}{1{,}84} = 25$

6** **a** Bepaal de golflengte.

- aflezen: 3 golven in 60 m
- de golflengte is $\dfrac{60}{3} = 20\ m$

b Bepaal de amplitude.

- aflezen: de amplitude is 4,5 m

c Hoe groot is de frequentie?

- $v_{golf} = 840\ m/s$ | $\lambda = 20\ m$ | $f = \ldots Hz$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow 840 = 20 \cdot f \rightarrow f = 42\ Hz$

7** **a** Bepaal de golflengte.

- aflezen: 2,5 golven in 24 cm
- de golflengte is $\dfrac{0{,}24}{2{,}5} = 0{,}096\ m$

b Bepaal de amplitude.

- aflezen: de amplitude is 22,5 cm

c Hoe groot is de golfsnelheid?

- $f = 50\ Hz$ | $\lambda = 0{,}096\ m$ | $v_{golf} = \ldots m/s$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow v_{golf} = 50 \cdot 0{,}096 = 4{,}8\ m/s$

8***
a Bepaal de golflengte.
- je ziet één golf
- opmeten $\lambda = 3{,}7\text{cm}$
- 20 keer verkleind $\rightarrow$ $\lambda = 20 \cdot 3{,}7 = 74\text{ cm} = 0{,}74\text{ m}$

b Bepaal de golfsnelheid.
- opmeten: afstand tussen voorkanten van de golf bij de bovenste en onderste foto
- $s = 6{,}2\text{ cm}$ $\rightarrow$ 20 keer verkleind $\rightarrow$ $s = 20 \cdot 6{,}2 = 124\text{ cm}$
- $s = 1{,}24\text{ m}$ | $t = 0{,}40\text{ s}$ | $v_{gem} = \ldots\text{m/s}$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 1{,}24 = v_{gem} \cdot 0{,}4 \rightarrow v_{gem} = v_{golf} = 3{,}1\text{ m/s}$

c Bereken de frequentie.
- $\lambda = 0{,}74\text{ m}$ | $v_{golf} = 3{,}1\text{ m/s}$ | $f = \ldots\text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow 3{,}1 = f \cdot 0{,}74 \rightarrow f = 4{,}189 = 4{,}2\text{ Hz}$

d Hoe lang heeft punt A getrild?
- er is één golf gemaakt
- A heeft één periode getrild
- $T = \dfrac{1}{f} \rightarrow T = \dfrac{1}{4{,}189} = 0{,}2387 = 0{,}24\text{ s}$

e Bepaal hoeveel tijd er is verstreken tussen het moment waarop A in trilling is gebracht en het moment waarop de onderste opname is gemaakt.
- opmeten: afstand van punt A tot de voorkant van de golf bij de onderste foto
- $s = 12{,}3\text{ cm}$ | 20 keer verkleind $\rightarrow$ $s = 20 \cdot 12{,}3 = 246\text{ cm}$
- $s = 2{,}46\text{ m}$ | $v_{golf} = v_{gem} = 3{,}1\text{ m/s}$ | $t = \ldots\text{s}$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 2{,}46 = 3{,}1 \cdot t \rightarrow t = 0{,}7935 = 0{,}79\text{ s}$

9***
a Bereken de golfsnelheid van de tsunami.
- $s = 9000\text{ km}$ | $t = 12{,}5\text{ h}$ | $v_{gem} = \ldots\text{km/h}$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 9000 = v_{gem} \cdot 12{,}5 \rightarrow v_{gem} = v_{golf} = 720\text{ km/h}$

b Leg uit waarom de frequentie niet verandert.
- bij een golf wordt de trilling van een trillingsbron doorgegeven aan de omgeving
- de frequentie wordt bepaald door de trillingsbron en verandert onderweg niet

c Leg uit of in ondiep water de golflengte groter of kleiner wordt.
- $v_{golf} = C \cdot \sqrt{d}$ d wordt kleiner en C blijft constant $\rightarrow$ v_{golf} wordt kleiner
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} wordt kleiner en f blijft constant $\rightarrow$ λ wordt kleiner

10**** **a** Beredeneer of A op t=0 omhoog of omlaag begon te bewegen.

- het (u, t)-diagram van punt P is gegeven *LET OP: dit is geen (u, x)-diagram!*
- op t = 3,0 ms begint P omlaag te bewegen
- P volgt A dus op t=0 is punt A ook begonnen met een beweging omlaag

b Bepaal de amplitude van de lopende golf.

- aflezen: A = 1,1 cm (marge van 0,05 cm)

c Bepaal de golflengte van de lopende golf.

- in 3,0 ms beweegt de golf van A naar punt P op 1,8 m afstand
- $s = 1{,}8 \text{ m} \quad | \quad t = 0{,}0030 \text{ s} \quad | \quad v_{gem} = \ldots \text{ m/s}$
- $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 1{,}8 = v_{gem} \cdot 0{,}003 \quad \rightarrow \quad v_{gem} = 600 \text{ m/s}$
- aflezen: 2 trillingen in $10{,}5 - 3 = 7{,}5 \text{ ms} \rightarrow T = \frac{7{,}5}{2} = 3{,}75 \text{ ms} = 0{,}00375 \text{ s}$
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{0{,}00375} = 266{,}667 \text{ Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $600 = 266{,}667 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 2{,}25 \text{ m}$

9.4 Interferentie

1[**] **a** Leg uit wanneer twee trillingsbronnen coherent zijn.
- ze hebben dezelfde frequentie
- ze hebben dezelfde amplitude
- ze beginnen op hetzelfde moment aan een nieuwe trilling

b Leg uit of de golven uit A en B elkaar in P_1 versterken of verzwakken.
- P_1 ligt op een golfdal van bron A en op een golfdal van bron B
- er treedt versterking op (constructieve interferentie)

c Leg uit of de golven uit A en B elkaar in P_2 versterken of verzwakken.
- P_2 ligt op een golfberg van bron A en op een golfberg van bron B
- er treedt versterking op (constructieve interferentie)

d Leg uit of de golven uit A en B elkaar in P_3 versterken of verzwakken.
- P_3 ligt op een golfdal van bron A en op een golfberg van bron B
- er treedt verzwakking op (destructieve interferentie)

2[**] **a** Schets de buiklijnen in het linker figuur.
- buiklijnen: faseverschil is n met n = 0, 1, 2, 3, • • •
- buiklijnen gaan door de snijpunten van twee groene getrokken cirkels en door de snijpunten van twee blauwe gestreepte cirkels

b Schets de knooplijnen in het rechter figuur.
- knooplijnen: faseverschil is n+½ met n = 0, 1, 2, 3, • • •
- knooplijnen gaan door de snijpunten van een groene getrokken cirkel en een blauwe gestreepte cirkel

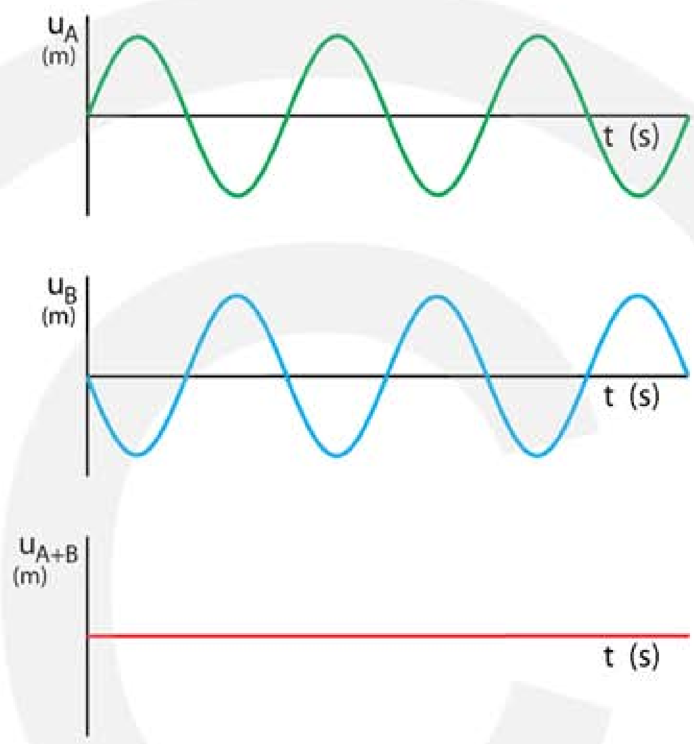
3[***] **a** Leg uit hoe het patroon verandert als de frequentie van de trillingsbronnen toeneemt en de golfsnelheid gelijk blijft.
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} blijft gelijk | f neemt toe $\rightarrow$ λ wordt kleiner
- de afstand tussen buiklijnen en knooplijnen neemt af

b Leg uit hoe het patroon verandert als de golfsnelheid toeneemt en de frequentie gelijk blijft.
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} neemt toe | f blijft gelijk $\rightarrow$ λ wordt groter
- de afstand tussen buiklijnen en knooplijnen neemt toe

4*** **a** Ligt punt P op een buiklijn of op een knooplijn?

- de golf uit B gaat omlaag als de golf uit A omhoog gaat
- P ligt op een knooplijn

b Schets het (u, t)-diagram in punt P veroorzaakt door de bronnen A en B samen.

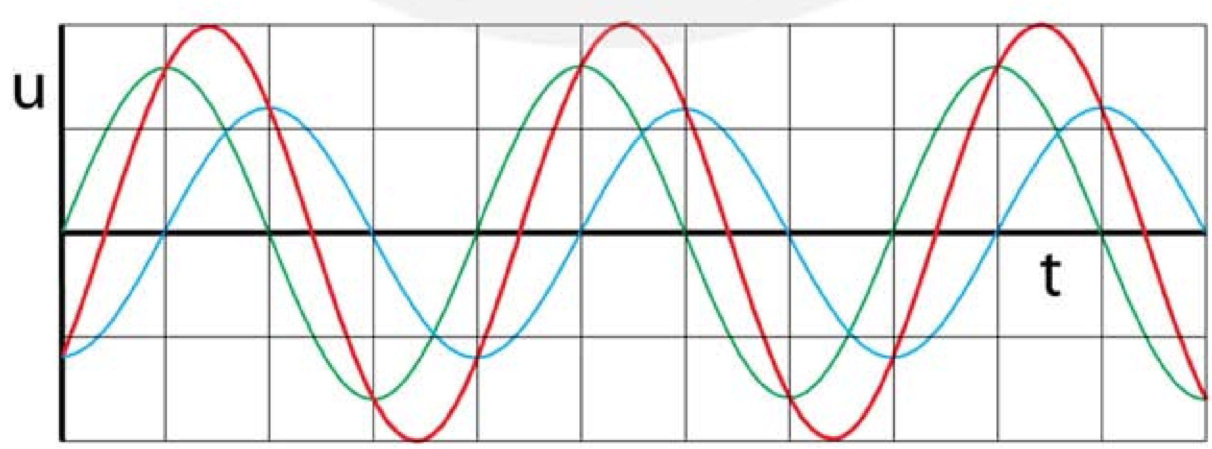


5**** **a** Ligt punt P op een buiklijn, op een knooplijn of tussen een buiklijn en een knooplijn in?

- de golf uit A en B versterken elkaar niet en doven elkaar ook niet uit
- P ligt tussen een buiklijn en een knooplijn

b Schets in de figuur het (u, t)-diagram veroorzaakt door de bronnen A en B samen.

- op ieder tijdstip is de uitwijking de som van de uitwijking van golf A en golf B



6** **a** Leg dit uit.
- de microfoon zendt golfbergen en golfdalen uit
- een golfberg die via de linkerbuis gaat ontmoet in M een golfberg die één periode eerder is uitgezonden en via de rechterbuis is gegaan
- in M komen twee golfbergen elkaar tegen
- dit geeft een verdubbeling van de amplitude → versterking

b Wat gebeurt er met de golven als het verschil in afstand gelijk is aan de helft van de golflengte?
- de microfoon zendt golfbergen en golfdalen uit
- een golfberg die via de linkerbuis gaat ontmoet in M een golfdal die één periode eerder is uitgezonden en via de rechterbuis is gegaan
- in M komt een golfberg een golfdal tegen
- de amplitude wordt nul → uitdoving

c Hoe groot is het verschil in afstand als de golven elkaar versterken?
- $f = 500\,\text{Hz} \quad | \quad v_{golf} = 343\,\text{m/s} \quad | \quad \lambda = \ldots\,\text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad 343 = 500 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 0{,}686\,\text{m}$
- bij versterking is het verschil in afstand 0,686 m

d Hoe groot is het verschil in afstand als de golven elkaar uitdoven?
- bij uitdoving is het verschil in afstand de helft van de golflengte
- bij uitdoving is het verschil in afstand $\frac{0{,}686}{2} = 0{,}343\,\text{m}$

e Hoever moet de linkerbuis worden uitgetrokken om voor de eerste keer uitdoving te krijgen?
- eerste uitdoving → verschil in afstand de helft van de golflengte → 0,343 m
- de buis moet $\frac{0{,}343}{2} = 0{,}1715 = 0{,}17\,\text{m}$ worden uitgetrokken

f Hoever moet de linkerbuis worden uitgetrokken om voor de tweede keer uitdoving te krijgen?
- tweede keer uitdoving → het verschil in afstand is 1½ keer de golflengte
- $1{,}5 \cdot 0{,}686 = 1{,}029\,\text{m}$
- de buis moet $\frac{1{,}029}{2} = 0{,}5145 = 0{,}51\,\text{m}$ worden uitgetrokken

9.5 Geluid

1** **a** Bereken de trillingstijd van je trommelvlies als je deze frequentie hoort.

- $f = 4{,}5 \cdot 10^3\ \text{Hz} \quad | \quad T = \ldots\ \text{s}$
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad T = \dfrac{1}{f}$
- $T = \dfrac{1}{4{,}5 \cdot 10^3} = 2{,}2222 \cdot 10^{-4} = 2{,}2 \cdot 10^{-4}\ \text{s}$

b Bereken de trillingstijd van je trommelvlies als je de hoogste toon en als je de laagste toon hoort.

- hoogste toon $\rightarrow$ $f = 20 \cdot 10^3\ \text{Hz} \quad | \quad T = \ldots\ \text{s}$
- $T = \dfrac{1}{20 \cdot 10^3} = 5{,}0 \cdot 10^{-5}\ \text{s}$
- laagste toon $\rightarrow$ $f = 20\ \text{Hz} \quad | \quad T = \ldots\ \text{s}$
- $T = \dfrac{1}{20} = 5{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{s}$

2** **a** Bereken de golflengte in lucht bij een temperatuur van 20°C.

- $f = 261{,}63\ \text{Hz} \quad | \quad v_{geluid} = 343\ \text{m/s} \quad | \quad \lambda = \ldots\ \text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{v_{golf}}{f}$
- $\lambda = \dfrac{332}{261{,}63} = 1{,}269 = 1{,}27\ \text{m}$

b Leg uit of de stemvork bij deze temperatuur hogere toon, een lagere toon of dezelfde toonhoogte geeft.

- de frequentie is de eigenfrequentie van de stemvork
- de eigenfrequentie is onafhankelijk van de temperatuur
- de stemvork geeft bij 0 °C dezelfde toonhoogte

c Bereken de golflengte in lucht bij een temperatuur van 0 °C.

- $f = 261{,}63\ \text{Hz} \quad | \quad v_{geluid} = 332\ \text{m/s} \quad | \quad \lambda = \ldots\ \text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{v_{golf}}{f}$
- $\lambda = \dfrac{343}{261{,}63} = 1{,}311 = 1{,}31\ \text{m}$

3** **a** Bereken de frequentie van de toon.
- $v_{geluid} = 343\ m/s \quad | \quad \lambda = 780\ mm = 0{,}78\ m \quad | \quad f = \ldots Hz$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{v_{golf}}{\lambda}$
- $f = \dfrac{343}{0{,}78} = 439{,}74 = 440\ Hz$

b Bereken de golflengte van dezelfde toon in millimeter.
- $f = 261{,}63\ Hz \quad | \quad v_{geluid} = 354\ m/s \quad | \quad \lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{v_{golf}}{f}$
- $\lambda = \dfrac{354}{439{,}74} = 0{,}805\ m = 805\ mm$

4** **a** Bereken de golflengte van deze toon in zeewater.
- $f = 800\ Hz \quad | \quad v_{geluid} = 1510\ m/s \quad | \quad \lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{v_{golf}}{f}$
- $\lambda = \dfrac{1510}{800} = 1{,}8875\ m = 1{,}89\ m$

b Bereken de golflengte van deze toon in lucht als T = 20 °C.
- $f = 800\ Hz \quad | \quad v_{geluid} = 343\ m/s \quad | \quad \lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{v_{golf}}{f}$
- $\lambda = \dfrac{343}{800} = 0{,}42875\ m = 0{,}429\ m$

5** **a** Bereken de frequentie van deze toon.
- $v_{golf} = 1510\ m/s \quad | \quad \lambda = 25\ mm = 0{,}025\ m \quad | \quad f = \ldots Hz$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad 1510 = f \cdot 0{,}025 \quad \rightarrow \quad f = 60400\ Hz \quad = 60{,}4\ kHz$

b Bereken de golflengte van een toon van 14 Hz.
- $v_{golf} = 343\ m/s \quad | \quad f = 14\ Hz \quad | \quad \lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad 343 = 14 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 24{,}5\ m$

6*** **a** Leg uit waarom ze niet één maar twee klappen hoort
- het geluid door de rails is eerder bij Cato dan het geluid door de lucht
- Cato hoort eerst de klap van het geluid door de rails
- Cato hoort daarna de klap van het geluid door de lucht

b Bereken hoeveel tijd er zit tussen de klappen.
- $s = 150\ m \quad | \quad v_{golf\ lucht} = 343\ m/s \quad | \quad v_{golf\ ijzer} = 5100\ m/s \quad | \quad t = \ldots s$
- door de lucht: $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 150 = 343 \cdot t \quad \rightarrow \quad t = 0{,}43718\ s$
- door het ijzer: $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 150 = 5100 \cdot t \quad \rightarrow \quad t = 0{,}029412\ s$
- verschil: $\Delta t = 0{,}43718 - 0{,}029412 = 0{,}407768 = 0{,}41\ s$

c Leg uit of Cato één of twee verschillende toonhoogten hoort.
- de frequentie wordt bepaald door de trillingsbron
- Cato hoort maar één toonhoogte

d Bereken de golflengte van de toon in ijzer.
- 18.000 toeren per minuut is $\frac{18000}{60} = 300$ toeren per seconden
- de frequentie van de boormachine is 300 Hz
- $f = 300\ Hz \quad | \quad v_{golf\ ijzer} = 5100\ m/s \quad | \quad \lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad 5100 = 300 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 17\ m$

e Bereken de golflengte van de toon in lucht
- de frequentie van de boormachine is 300 Hz
- $f = 300\ Hz \quad | \quad v_{golf\ lucht} = 343\ m/s \quad | \quad \lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad 343 = 300 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 1{,}14333 = 1{,}14\ m$

7**** **a** Bereken de afstand van Vera tot de onweerswolk.
- verticale afstand is 6,0 km | horizontale afstand is 3,0 km
- gebruik de stelling van Pythagoras
- $s = \sqrt{3^2 + 6^2} = 6{,}7082 = 6{,}7\ \ km$

b Bereken hoeveel tijd er zit tussen het moment waarop Vera de bliksem ziet en het eerste moment waarop ze de donder hoort.
- de bliksem slaat op 3,0 km afstand in $\rightarrow$ kortste afstand is 3000 m
- $s = 3000\ m \quad | \quad v_{gem} = 343\ m/s \quad | \quad t = \ldots s$
- $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 3000 = 343 \cdot t \quad \rightarrow \quad t = 8{,}74636 = 8{,}75\ s$

c Bereken hoe lang de donder aanhoudt.
- grootste afstand tot de bliksem is 6,7082 km = 6708,2 m
- $s = 6708{,}2\ m \quad | \quad v_{gem} = 343\ m/s \quad | \quad t = \ldots s$
- $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 6708{,}2 = 343 \cdot t \quad \rightarrow \quad t = 19{,}5574 = 19{,}56\ s$
- verschil in tijd $\Delta t = 19{,}5574 - 8{,}74636 = 10{,}811 = 10{,}8\ s$

d Leg uit wat hiervan een reden kan zijn.
- het geluid kan tegen gebouwen of bergen kaatsen voordat het in het oor komt
- in dat geval legt het geluid een grotere afstand af zodat het langer aanhoudt

Afstand tot de geluidsbron bij bolvormige golven

8** **a** Wat is het uitgestraalde vermogen van de lamp?

- $I = 0{,}19 \cdot 10^{-3}\ W/m^2 \quad | \quad r = 15\ m \quad | \quad P_{bron} = \ldots W$
- bolvormige golf $\rightarrow I = \dfrac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$
- $1{,}0 \cdot 10^{-3} = \dfrac{P_{bron}}{4\pi \cdot 15^2} \quad \rightarrow \quad P_{bron} = 2{,}82743 = 2{,}8\ W$

b Beredeneer hoe groot de intensiteit is op 30 m afstand?

- de afstand is 2 keer zo groot geworden
- de intensiteit is $2^2 = 4$ keer zo klein
- $I = \dfrac{1{,}0 \cdot 10^{-3}}{4} = 2{,}5 \cdot 10^{-4}\ W/m^2$

c Beredeneer hoe groot de intensiteit is op 3,0 km afstand?

- de afstand is 100 keer zo groot geworden als bij 30 meter
- de intensiteit is $100^2 = 10000$ keer zo klein
- $I = \dfrac{2{,}5 \cdot 10^{-4}}{10000} = 2{,}5 \cdot 10^{-8}\ W/m^2$

9*** **a** Bereken het vermogen van de bron.

- $I = 1{,}0\ W/m^2 \quad | \quad r = 10\ m \quad | \quad P_{bron} = \ldots W$
- $I = \dfrac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$
- $1{,}0 = \dfrac{P_{bron}}{4\pi \cdot 10^2} \quad \rightarrow \quad P_{bron} = 1256{,}637 = 1{,}3 \cdot 10^3\ W$

b Bereken de intensiteit die je vriend hoort.

- $P_{bron} = 1256{,}637\ W \quad | \quad r = 320\ m \quad | \quad I = \ldots W/m^2$
- $I = \dfrac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$
- $I = \dfrac{1256{,}637}{4\pi \cdot 320^2} = 9{,}76562 \cdot 10^{-4} = 9{,}8 \cdot 10^{-4}\ W/m^2$

OOK GOED

- gebruik de verhouding
- $I_1 = 1{,}0\ W/m^2 \quad | \quad r_1 = 10\ m \quad | \quad r_2 = 320\ m \quad | \quad I_2 = \ldots W/m^2$
- $I = \dfrac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$ $\quad$ Pbron verandert niet $\rightarrow$ bereken de verhouding
- $\dfrac{I_1}{I_2} = \dfrac{4\pi \cdot r_2^2}{4\pi \cdot r_1^2} \quad \rightarrow \quad \dfrac{I_1}{I_2} = \dfrac{r_2^2}{r_1^2}$

- $\frac{1{,}0}{I_2} = \frac{320^2}{10^2} \quad \rightarrow \quad 320^2 \cdot I_2 = 1{,}0 \cdot 10^2 = 100$
- $I_2 = \frac{100}{320^2} = 9{,}7656 \cdot 10^{-4} = 9{,}8 \cdot 10^{-4}\ \text{W/m}^2$

c Is de knal op 100 km afstand nog hoorbaar?
- $P_{bron} = 1256{,}637\ \text{W} \quad | \quad r = 100 \cdot 10^3\ \text{m} \quad | \quad I = \ldots\ \text{W/m}^2$
- $I = \frac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$
- $I = \frac{1256{,}637}{4\pi \cdot (100 \cdot 10^3)^2} = 1{,}0 \cdot 10^{-8}\ \text{W/m}^2$
- dit is meer dan $1{,}0 \cdot 10^{-10}\ \text{W/m}^2$ dus op 100 km afstand is de knal nog hoorbaar

OOK GOED
- gebruik de verhouding

- $I_1 = 1{,}0\ \text{W/m}^2 \quad | \quad r_1 = 10\ \text{m} \quad | \quad r_2 = 1{,}0 \cdot 10^5\ \text{m} \quad | \quad I_2 = \ldots\ \text{W/m}^2$
- $I = \frac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$ $\qquad$ P_{bron} verandert niet $\rightarrow$ bereken de verhouding
- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{4\pi \cdot r_2^2}{4\pi \cdot r_1^2} \quad \rightarrow \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$
- $\frac{1{,}0}{I_2} = \frac{(1{,}0 \cdot 10^5)^2}{10^2} \quad \rightarrow \quad (1{,}0 \cdot 10^5)^2 \cdot I_2 = 1{,}0 \cdot 10^2 = 100$
- $I_2 = \frac{100}{1{,}0 \cdot 10^{10}} = 1{,}0 \cdot 10^{-8}\ \text{W/m}^2$
- dit is meer dan $1{,}0 \cdot 10^{-10}\ \text{W/m}^2$ dus op 100 km afstand is de knal nog hoorbaar

10*** **a** Bereken hoever je van de luidspreker moet gaan staan om geen gehoorbeschadiging op te lopen.
- bereken eerst P_{bron}
- $I_1 = 0{,}5\ \text{W/m}^2 \quad | \quad r_1 = 2{,}0\ \text{m} \quad | \quad P_{bron} = \ldots\ \text{W/m}^2$
- $I = \frac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$
- $0{,}5 = \frac{P_{bron}}{4\pi \cdot 2^2} \quad \rightarrow \quad P_{bron} = 25{,}13274\ \text{W}$
- P_{bron} verandert niet
- $5 \cdot 10^{-3} = \frac{25{,}13274}{4\pi \cdot r_2^2} \quad \rightarrow \quad r_2^2 = 400$
- $r_2 = \sqrt{400} = 20\ \text{m}$

OOK GOED
- gebruik de verhouding

- $I = \frac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$ P_{bron} verandert niet $\rightarrow$ bereken de verhouding
- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{4\pi \cdot r_2^2}{4\pi \cdot r_1^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$
- $\frac{0{,}5}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{r_2^2}{2^2} \rightarrow r_2^2 = 4 \cdot 100 = 400$
- $r_2 = \sqrt{400} = 20\ \text{m}$

b Bereken met hoeveel W/m^2 door de oordopjes wordt doorgelaten als je op een afstand van 2,0 m van de luidspreker staat.

- 98% van 500 mW/m^2 wordt tegengehouden $\rightarrow I_{tegen} = 0{,}98 \cdot 500 = 490\ \text{mW/m}^2$
- er wordt $500 - 490 = 10\ \text{mW/m}^2$ doorgelaten

c Bereken hoe dicht je met oordoppen bij de luidspreker kunt gaan staan om 5,0 mW/m^2 geluidsintensiteit te horen.

- bereken eerst P_{bron}
- $I_1 = 10 \cdot 10^{-3}\ \text{W/m}^2$ | $r_1 = 2{,}0\ \text{m}$ | $P_{bron} = \ldots\ \text{W}$
- $I = \frac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$
- $10 \cdot 10^{-3} = \frac{P_{bron}}{4\pi \cdot 2^2} \rightarrow P_{bron} = 0{,}502655\ \text{W/m}^2$
- P_{bron} verandert niet
- $5{,}0 \cdot 10^{-3} = \frac{0{,}502655}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow r = 2{,}82843 = 2{,}8\ \text{m}$

OOK GOED

- gebruik de verhouding
- $I_1 = 10 \cdot 10^{-3}\ \text{W/m}^2$ | $r_1 = 2{,}0\ \text{m}$ | $I_2 = 5{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{W/m}^2$ | $r_2 = \ldots\ \text{m}$
- $I = \frac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$ P_{bron} verandert niet $\rightarrow$ bereken de verhouding
- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{4\pi \cdot r_2^2}{4\pi \cdot r_1^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$
- $\frac{10 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{r_2^2}{2^2} \rightarrow r_2^2 = 4 \cdot 2 = 8$
- $r_2 = \sqrt{8} = 2{,}828 = 2{,}8\ \text{m}$

OOK GOED

- geluidsintensiteit moet 2 keer zo klein worden
- afstand moet $\sqrt{2} = 1{,}41421$ keer zo groot worden
- $2{,}0 \cdot 1{,}41421 = 2{,}82843 = 2{,}8\ \text{m}$
- je moet op 2,8 meter gaan staan

11**** **a** Bereken hoeveel procent van de geluidsenergie de gehoorbescherming moet tegenhouden.

- 100 mW/m^2 wordt teruggebracht tot 100 μW/m^2
- geluidsintensiteit wordt 1000 keer kleiner
- er blijft 1/1000 deel over
- 99,9% wordt tegengehouden

b Bereken op welke afstand je van de drilboor moet gaan staan om zonder gehoorbescherming ook aan maximaal 100 μW/m^2 te worden blootgesteld.

- bereken eerst P_{bron}
- $I_1 = 100 \cdot 10^{-3}\ W/m^2 \quad | \quad r_1 = 1{,}5\ m \quad | \quad P_{bron} = \ldots\ W$
- $I = \dfrac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$
- $100 \cdot 10^{-3} = \dfrac{P_{bron}}{4\pi \cdot 1{,}5^2} \quad \rightarrow \quad P_{bron} = 2{,}82743\ W/m^2$
- P_{bron} verandert niet
- $100 \cdot 10^{-6} = \dfrac{2{,}82743}{4\pi \cdot r^2} \quad \rightarrow \quad r = 47{,}4342\ m$
- je moet op 48 meter gaan staan *(naar boven afronden)*

OOK GOED

- gebruik de verhouding
- $I_1 = 100 \cdot 10^{-3}\ W/m^2 \quad | \quad r_1 = 1{,}5\ m \quad | \quad I_2 = 100 \cdot 10^{-6}\ W/m^2 \quad | \quad r_2 = \ldots m$
- $I = \dfrac{P_{bron}}{4\pi \cdot r^2}$ P_{bron} verandert niet → bereken de verhouding
- $\dfrac{I_1}{I_2} = \dfrac{4\pi \cdot r_2^2}{4\pi \cdot r_1^2} \quad \rightarrow \quad \dfrac{I_1}{I_2} = \dfrac{r_2^2}{r_1^2}$
- $\dfrac{100 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}} = \dfrac{r_2^2}{1{,}5^2} \quad \rightarrow \quad r_2^2 = 1000 \cdot 1{,}5^2 = 2250$
- $r_2 = \sqrt{2250} = 47{,}4342\ m$
- je moet op 48 meter gaan staan *(naar boven afronden)*

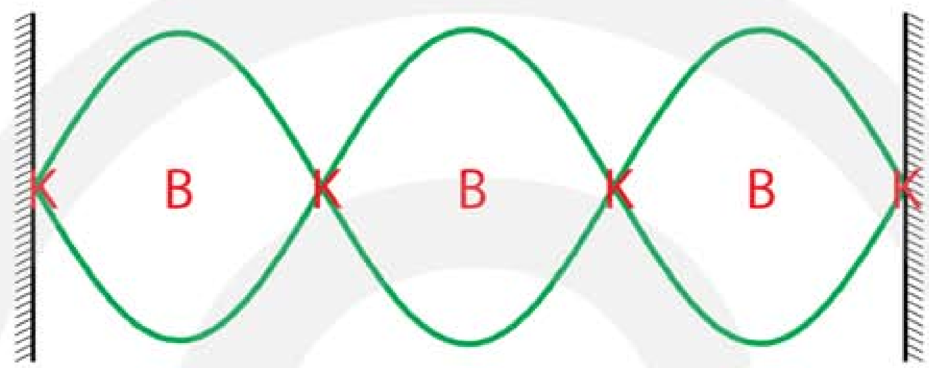
OOK GOED

- geluidsintensiteit wordt 1000 keer minder
- afstand moet $\sqrt{1000} = 31{,}623$ keer zo groot worden
- $1{,}5 \cdot 31{,}623 = 47{,}4342\ m$
- je moet op 48 meter gaan staan *(naar boven afronden)*

9.6 Staande golven

Twee vaste uiteinden (snaarinstrumenten)

1** **a** Geef in de figuur de plaatsen van de buiken en van de knopen aan.



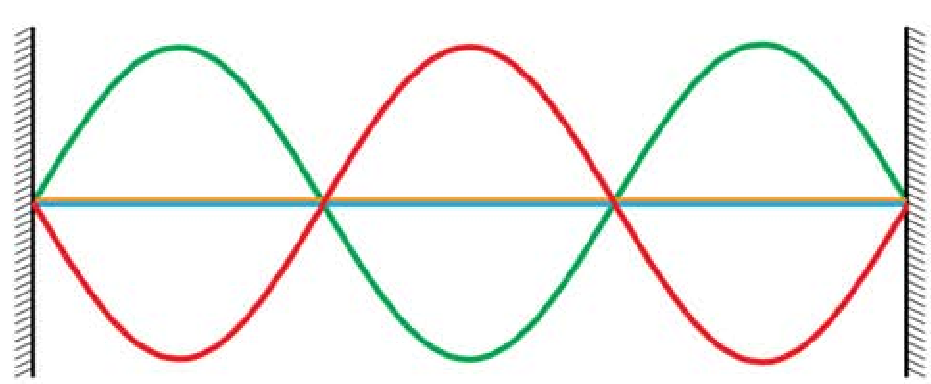
b Bepaal de golflengte van de staande golf.
- je ziet 6 keer ¼λ
- $\ell = 6 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{3}{2}\lambda$
- $2{,}4 = \frac{3}{2}\lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{2 \cdot 2{,}4}{3} = 1{,}6\ \text{m}$

2** **a** Teken de stand van het koord op t = ¼ T (een kwart trillingstijd later).
- oranje lijn

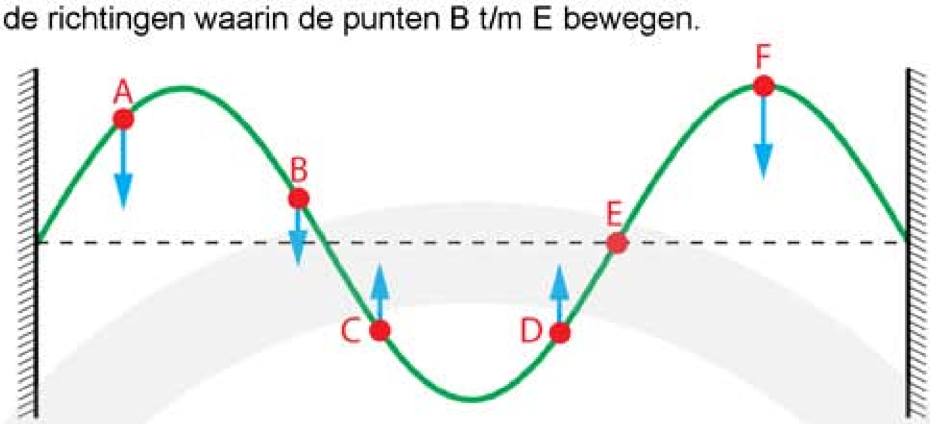
b Teken de stand van het koord op t = ½ T (een halve trillingstijd later).
- rode lijn

c Teken de stand van het koord op t = ¾ T (een ¾ trillingstijd later).
- blauwe lijn

d Teken de stand van het koord op t = T (één trillingstijd later).
- groene lijn



3* **a** Teken de richtingen waarin de punten B t/m E bewegen.



b Zet de punten A t/m F in volgorde van snelheid. Ga van de hoogste naar de laagste snelheid.

- F → A → C & D → B → E

c Wie heeft er gelijk, Timo, Lucas of geen van beiden?

- bij de uiterste stand staan alle punten in het koord stil
- Timo heeft gelijk

4* **a** Teken in onderstaande figuur een staande golf met 1 buik.

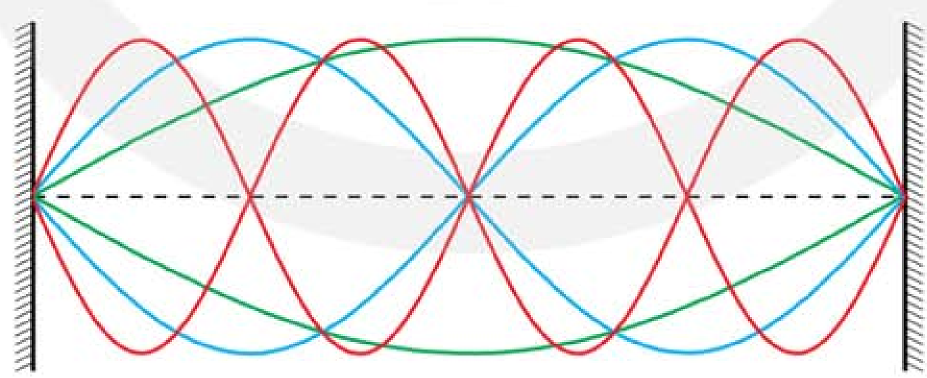
- groene lijn

b Teken met een andere kleur een staande golf met 2 buiken.

- blauwe lijn

c Teken met een andere kleur een staande golf met 5 knopen.

- rode lijn



5** **a** Welke boventoon deze staande golf?

- grondtoon: K – B – K
- 1e boventoon: K – B – K – B – K
- 2e boventoon: K – B – K – B – K – B – K
- 3e boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K
- 4e boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K – B – K
- de snaar trilt in de 4e boventoon

b Welke frequentie heeft deze boventoon met 5 buiken?

- grondtoon $f_0 = 200\,\text{Hz}$
- de 4e boventoon heeft 5 buiken (zie vraag a)
- 1e boventoon $\lambda_1 = \frac{1}{2}\lambda_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot f_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot 200 = 400\,\text{Hz}$
- 2e boventoon $\lambda_2 = \frac{1}{3}\lambda_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot 200 = 600\,\text{Hz}$
- 3e boventoon $\lambda_3 = \frac{1}{4}\lambda_0 \rightarrow f_3 = 4 \cdot f_0 \rightarrow f_3 = 4 \cdot 200 = 800\,\text{Hz}$
- 4e boventoon $\lambda_4 = \frac{1}{5}\lambda_0 \rightarrow f_4 = 5 \cdot f_0 \rightarrow f_4 = 5 \cdot 200 = 1000\,\text{Hz}$
- de 4e boventoon (5 buiken) heeft een frequentie van 1000 Hz

6* a** Bereken de golflengte van de staande golf in de snaar.

- grondtoon: K – B – K
- $\ell = 2 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{2}\lambda$
- $0{,}6 = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \lambda = 1{,}2\,\text{m}$

b Bereken de golfsnelheid.

- $f = 300\,\text{Hz}$ | $\lambda = 1{,}2\,\text{m}$ | $v_{golf} = \ldots\,\text{m/s}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $v_{golf} = 300 \cdot 1{,}2 = 360\,\text{m/s}$

c Bereken de frequentie van de tweede boventoon.

- grondtoon $f_0 = 200\,\text{Hz}$
- 1e boventoon $\lambda_1 = \frac{1}{2}\lambda_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot f_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot 300 = 600\,\text{Hz}$
- 2e boventoon $\lambda_2 = \frac{1}{3}\lambda_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot 300 = 900\,\text{Hz}$
- de 2e boventoon heeft een frequentie van 900 Hz

d Bereken de frequentie van de vijfde boventoon.

- grondtoon $f_0 = 300\,\text{Hz}$
- 1e boventoon $\lambda_1 = \frac{1}{2}\lambda_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot f_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot 300 = 600\,\text{Hz}$
- 2e boventoon $\lambda_2 = \frac{1}{3}\lambda_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot 300 = 900\,\text{Hz}$
- 3e boventoon $\lambda_3 = \frac{1}{4}\lambda_0 \rightarrow f_3 = 4 \cdot f_0 \rightarrow f_3 = 4 \cdot 300 = 1200\,\text{Hz}$
- 4e boventoon $\lambda_4 = \frac{1}{5}\lambda_0 \rightarrow f_4 = 5 \cdot f_0 \rightarrow f_4 = 5 \cdot 300 = 1500\,\text{Hz}$
- 5e boventoon $\lambda_4 = \frac{1}{6}\lambda_0 \rightarrow f_4 = 6 \cdot f_0 \rightarrow f_4 = 6 \cdot 300 = 1800\,\text{Hz}$
- de 5e boventoon heeft een frequentie van 1800 Hz

7** a** Met welk doel brengt een gitarist een capo aan?

- door de capo wordt het deel van de snaar dat trilt korter gemaakt
- hierdoor wordt de toon hoger

b Bereken de frequentie van de grondtoon waarmee de snaar met capo gaat trillen.
- ZONDER CAPO
- grondtoon: K – B – K
- $\ell = 2 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{2}\lambda$
- $0{,}75 = \frac{1}{2}\lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 1{,}5\ \text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $v_{golf} = 280 \cdot 1{,}5 = 420\ \text{m/s}$
- MET CAPO v_{golf} blijft gelijk | $\ell = 0{,}75 - 0{,}25 = 0{,}50\ \text{m}$
- $0{,}50 = \frac{1}{2}\lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 1{,}0\ \text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $420 = f \cdot 1{,}0 \quad \rightarrow \quad f = 420\ \text{Hz}$

c Op welke plaats, gerekend vanaf de kop van de gitaar moet hij de capo zetten?
- v_{golf} blijft gelijk
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $420 = 500 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 0{,}84\ \text{m}$
- grondtoon: K – B – K
- $\ell = 2 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{2}\lambda \quad \rightarrow \quad \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}84 = 0{,}42\ \text{m}$
- snaar heeft lengte van 0,75 m
- op afstand $0{,}75 - 0{,}42 = 0{,}33\ \text{m}$ vanaf de kop moet hij de capo zetten

8*** **a** Bereken de lengte van de snaar.
- bereken eerst de golflengte
- $f = 440\ \text{Hz}$ | $v_{golf} = 290\ \text{m/s}$ | $\lambda = \ldots\ \text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $290 = 440 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 0{,}659\ \text{m}$
- grondtoon: K – B – K
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \quad \rightarrow \quad \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}659 = 0{,}3295 = 0{,}330\ \text{m}$

b Op welke plaats moet de violist de snaar afklemmen?
- f twee keer zo groot → λ twee keer zo klein, want v_{golf} blijft gelijk
- hij moet de snaar precies in het midden afklemmen

c Op welke afstand van de kam moet hij de snaar afklemmen?
- $f = 587\ \text{Hz}$ | $v_{golf} = 290\ \text{m/s}$ | $\lambda = \ldots\ \text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $290 = 587 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 0{,}494\ \text{m}$
- grondtoon: K – B – K
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \quad \rightarrow \quad \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}494 = 0{,}247\ \text{m}$
- hij moet de snaar op 24,7 cm van de kam afklemmen

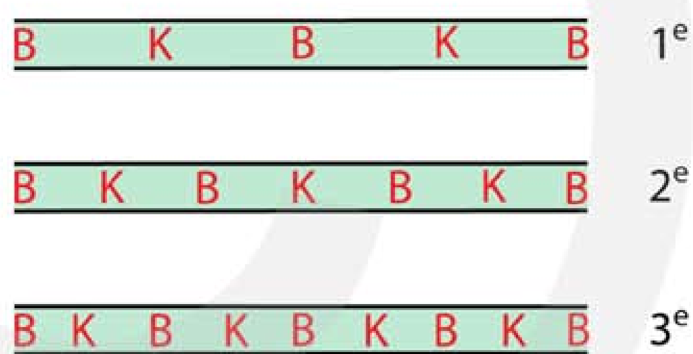
9**** **a** Leg uit of bij het stemmen van een piano de lengte van de snaar verandert.
- de snaar is aan beide kanten ingeklemd
- de lengte van de snaar verandert niet

b Leg uit waarom dit het geval is.
- de lengte van de snaar verandert niet
- grondtoon: $\ell = \frac{1}{2}\lambda \;\rightarrow\; \lambda = 2\cdot\ell$ de golflengte verandert ook niet
- $v_{golf} = f\cdot\lambda$
- f moet groter worden, λ blijft gelijk $\rightarrow$ v_{golf} moet groter worden

c Leg uit wie er gelijk heeft, Victor, Mats of geen van beiden.
- v_{golf} moet groter worden
- $v_{golf} = \sqrt{\dfrac{F_S\cdot\ell}{m}}$ $\rightarrow$ F_S moet groter worden $\rightarrow$ Mats heeft gelijk

Twee losse uiteinden (orgelpijp)

10** **a** Geef met letter B de plaatsen van de buiken en met letter K de plaatsen van de knopen aan voor de 1e de 2e en de 3e boventoon.



b Bereken de frequentie van de grondtoon.
- 2e boventoon: B – K – B – K – B – K – B $\rightarrow \ell = 6\cdot\frac{1}{4}\lambda = \frac{3}{2}\lambda \;\rightarrow\; \lambda = \frac{2}{3}\cdot\ell$
- grondtoon: B – K – B $\rightarrow \ell = 2\cdot\frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{2}\lambda \;\rightarrow\; \lambda = 2\cdot\ell$
- bij de grondtoon is de golflengte 3x groter dan bij de 2e boventoon
- $v_{golf} = f\cdot\lambda$
- vgolf blijft gelijk, λ wordt 3x groter $\rightarrow$ f wordt 3x kleiner
- grondtoon: $f_0 = \dfrac{300}{3} = 100\text{ Hz}$

c Bereken de frequenties van de 1e en van de 3e boventoon.
- grondtoon: B – K – B
- 1e boventoon: B – K – B – K – B
- 3e boventoon: B – K – B – K – B – K – B – K – B
- 1e boventoon: golflengte 2x zo klein $\rightarrow$ frequentie 2x zo groot
- $f_0 = 100\text{ Hz} \;\rightarrow\; f_1 = 2\cdot 100 = 200\text{ Hz}$
- 3e boventoon: golflengte 4x zo klein $\rightarrow$ frequentie 4x zo groot
- $f_0 = 100\text{ Hz} \;\rightarrow\; f_3 = 4\cdot 100 = 400\text{ Hz}$

11**** **a** Leg uit waarom je door alle gaatjes dicht te maken de laagste toon krijgt.
- als alle gaatjes dicht zijn heeft de luchtkolom de grootste lengte
- grootste lengte $\rightarrow$ grootste golflengte
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- hoe groter λ is hoe kleiner f wordt
- alle gaatjes dicht geeft de kleinste frequentie en dus de laagste toon

b Bereken hoe lang de fluit is van de inkeping tot het uiteinde aan de rechterkant.
- grondtoon: B – K – B
- $f = 523\,\text{Hz} \;\mid\; v_{golf} = 343\,\text{m/s} \;\mid\; \lambda = \ldots\,\text{m}$
- $343 = 523 \cdot \lambda \;\rightarrow\; \lambda = 0{,}65583\,\text{m}$
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \;\rightarrow\; \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}65583 = 0{,}3279 = 0{,}328\,\text{m}$

c Welke gaatjes moet je dicht houden als je een G speelt met een frequentie van 784 Hz?
- $f = 784\,\text{Hz} \;\mid\; v_{golf} = 343\,\text{m/s} \;\mid\; \lambda = \ldots\,\text{m}$
- $343 = 784 \cdot \lambda \;\rightarrow\; \lambda = 0{,}4375\,\text{m}$
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \;\rightarrow\; \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}4375 = 0{,}21875 = 0{,}219\,\text{m}$
- gebruik de verhouding: $\frac{0{,}219}{0{,}328} = 0{,}667$ van de lengte van de fluit
- bij de g heeft de luchtkolom een lengte van 2/3 van de fluit
- opmeten lengte fluit vanaf de inkeping is 13 cm
- lengte luchtkolom is $\frac{2}{3} \cdot 13 = 8{,}667\,\text{cm}$
- er moet een buik komen bij het vijfde gaatje
- je moet de bovenste 4 gaatjes dicht houden
- *(door de bouw van het instrument moet je in werkelijkheid de bovenste 3 gaatjes dichthouden om een buik bij het 5^{e} gaatje te laten ontstaan)*

12*** **a** Leg uit of je deze toon kunt horen.
- de frequentie is kleiner dan 20 Hz
- de toon is niet te horen
- *(je kunt de luchttrilling wel voelen)*

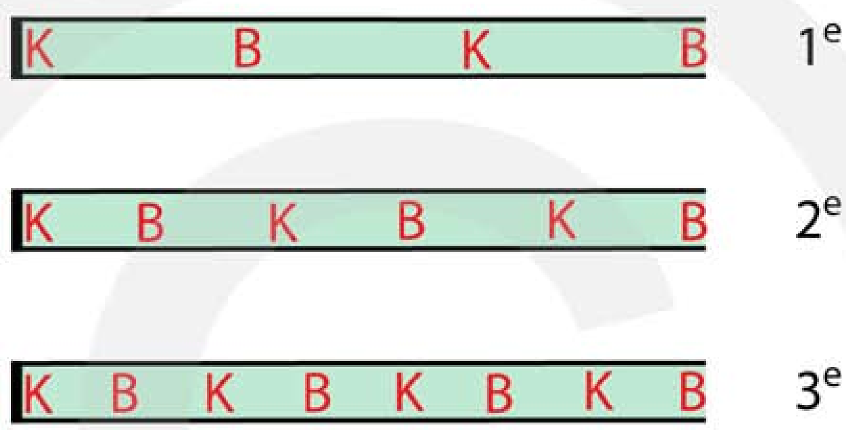
b Bereken de lengte van de langste orgelpijp van de inkeping tot het uiteinde.
- $f = 16{,}35\,\text{Hz} \;\mid\; v_{golf} = 343\,\text{m/s} \;\mid\; \lambda = \ldots\,\text{m}$
- $343 = 16{,}35 \cdot \lambda \;\rightarrow\; \lambda = 20{,}9786\,\text{m}$
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \;\rightarrow\; \ell = \frac{1}{2} \cdot 20{,}9786 = 10{,}489 = 10{,}5\,\text{m}$

c Bereken de lengte van de kortste orgelpijp van de inkeping tot het uiteinde.
- $f = 1318{,}5\,\text{Hz} \;\mid\; v_{golf} = 343\,\text{m/s} \;\mid\; \lambda = \ldots\,\text{m}$
- $343 = 1318{,}5 \cdot \lambda \;\rightarrow\; \lambda = 0{,}26014\,\text{m}$
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \;\rightarrow\; \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}26014 = 0{,}13007 = 0{,}130\,\text{m}$

d Leg uit hoe verschillende registers verschillende klanken kunnen maken.
- de pijpen in de verschillende registers zijn verschillend waardoor ze een andere combinatie van boventonen voortbrengen
- de combinatie van boventonen bepaalt de klank

Een vast en een los uiteinde

13*** **a** Geef met letter B de plaatsen van de buiken en met letter K de plaatsen van de knopen aan voor de 1ᵉ de 2ᵉ en de 3ᵉ boventoon.



b Bereken de frequentie van de grondtoon.
- grondtoon: K – B
- 1ᵉ boventoon: K – B – K – B
- de golflengte van de grondtoon is 3x zo groot als die van de 1ᵉ boventoon
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$ | v_{golf} blijft gelijk
- de frequentie van de grondtoon is 3x zo klein als die van de 1ᵉ boventoon
- $f_0 = \frac{1}{3} \cdot f_1 \;\rightarrow\; f_0 = \frac{1}{3} \cdot 300 = 100\,\text{Hz}$

c Bereken de frequenties van de 2ᵉ, de 3ᵉ en de 4ᵉ boventoon.
- grondtoon: K – B
- 1ᵉ boventoon: K – B – K – B
- 2ᵉ boventoon: K – B – K – B – K – B
- 3ᵉ boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B
- 4ᵉ boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K – B
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$ | v_{golf} blijft gelijk
- 2ᵉ boventoon: golflengte is 5 keer zo klein $\rightarrow\; f_2 = 5 \cdot f_0 \;\rightarrow\; f_2 = 5 \cdot 100 = 500\,\text{Hz}$
- 3ᵉ boventoon: golflengte is 7 keer zo klein $\rightarrow\; f_2 = 7 \cdot f_0 \;\rightarrow\; f_2 = 7 \cdot 100 = 700\,\text{Hz}$
- 4ᵉ boventoon: golflengte is 9 keer zo klein $\rightarrow\; f_2 = 7 \cdot f_0 \;\rightarrow\; f_2 = 9 \cdot 100 = 900\,\text{Hz}$

14** **a** Heeft deze luchtkolom twee open uiteinden of een open en een dicht uiteinde?
- evenveel knopen als buiken is
- er is een open en een dicht uitende

b Welke boventoon is aanwezig in de buis?
- grondtoon: K – B
- 1[e] boventoon: K – B – K – B
- 2[e] boventoon: K – B – K – B – K – B
- de tweede boventoon is aanwezig

15*** **a** Bereken de frequentie van de tweede boventoon in de buis.
- grondtoon: K – B
- 1[e] boventoon: K – B – K – B
- 2[e] boventoon: K – B – K – B – K – B
- $\ell = 5 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $0{,}60 = \frac{5}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \dfrac{4 \cdot 0{,}6}{5} = 0{,}48\ \text{m}$
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s}$ | $\lambda = 0{,}48\ \text{m}$ | $f = \ldots \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0{,}48 \rightarrow f = 714{,}58 = 715\ \text{Hz}$

b Geef met letter B de plaatsen van de buiken en met letter K de plaatsen van de knopen aan voor de 4[e] boventoon.
- 4[e] boventoon heeft 5 buiken en 5 knopen
- 4[e] boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K – B

c Bereken de frequentie van de vierde boventoon in de buis.
- $\ell = 9 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $0{,}60 = \frac{9}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \dfrac{4 \cdot 0{,}6}{9} = 0{,}2667\ \text{m}$
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s}$ | $\lambda = 0{,}2667\ \text{m}$ | $f = \ldots \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0{,}26667 \rightarrow f = 1286{,}25 = 1{,}29 \cdot 10^3\ \text{Hz}$

16*** **a** Hoe lang is de buis van een hoorn?
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s}$ | $f = 61{,}74\ \text{Hz}$ | $\lambda = \ldots \text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = 61{,}74 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 5{,}5556\ \text{m}$
- grondtoon: K – B
- $\ell = \frac{1}{4}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{4} \cdot 5{,}5556 \rightarrow \lambda = \dfrac{5{,}5556}{4} = 1{,}38889 = 1{,}39\ \text{m}$

b Bereken de frequentie van de eerste boventoon.
- grondtoon: K – B
- 1[e] boventoon: K – B – K – B

- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $1{,}38889 = \frac{3}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \dfrac{4 \cdot 1{,}38889}{3} = 1{,}85185\ \text{m}$
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s}$ | $\lambda = 1{,}85185\ \text{m}$ | $f = \ldots \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 1{,}85185 \rightarrow f = 185{,}22 = 185\ \text{Hz}$

c Leg uit of de toon hierdoor lager of hoger wordt.
- de luchtkolom wordt korter $\rightarrow$ de golflengte wordt kleiner
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} blijft gelijk , λ wordt kleiner $\rightarrow$ f wordt groter
- de toon wordt hoger

d Leg uit of de toon hierdoor lager of hoger wordt.
- bij een hogere temperatuur wordt v_{golf} groter
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} wordt groter , λ blijft gelijk $\rightarrow$ f wordt groter

17**** **a** Bereken de frequentie van de grondtoon bij kamertemperatuur.
- grondtoon: K – B
- $\ell = \frac{1}{4}\lambda$
- $0{,}328 = \frac{1}{4}\lambda \rightarrow \lambda = 4 \cdot 0{,}328 = 1{,}312\ \text{m}$
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s}$ | $\lambda = 1{,}312\ \text{m}$ | $f = \ldots \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 1{,}312 \rightarrow f = 261{,}43 = 261\ \text{Hz}$

b Zoek op welke muzieknoot dit is.
- opzoeken: 261,63 Hz is muzieknoot C1

c Bereken de lengte van het kortste buisje.
- frequentie 4 keer zo groot
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- golflengte 4x zo klein
- grondtoon: K – B
- buisje 4 keer zo kort $\ell = \dfrac{0{,}328}{4} = 0{,}082\ \text{m}$ $(8{,}2\ \text{cm})$

d Bereken de frequentie van de eerste boventoon van het langste buisje.
- grondtoon: K – B
- 1^{e} boventoon: K – B – K – B
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$

- $0{,}328 = \frac{3}{4}\lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{4 \cdot 0{,}328}{3} = 0{,}43733\ \text{m}$
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s} \quad | \quad \lambda = 0{,}43733\ \text{m} \quad | \quad f = \ldots\ \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0{,}43733 \quad \rightarrow \quad f = 784{,}3 = 784\ \text{Hz}$

e Zoek op welke muziekноot dit is.
- opzoeken: 784 Hz is muziekноot G2

f Bereken de frequentie van de eerste boventoon van het kortste buisje.
- grondtoon: K – B
- 1e boventoon: K – B – K – B
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $0{,}082 = \frac{3}{4}\lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{4 \cdot 0{,}082}{3} = 0{,}10933\ \text{m}$
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s} \quad | \quad \lambda = 0{,}10933\ \text{m} \quad | \quad f = \ldots\ \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0{,}10933 \quad \rightarrow \quad f = 3137{,}2\ \text{Hz}$ (muziekноot G4)

18** a** Zijn er twee gesloten uiteinden, twee open uiteinden, één open en één gesloten uiteinde, of geen van drie?
- 2x gesloten → grond: K – B – K 1e boventoon: K – B – K – B – K
- $f_1 = 2 \cdot f_0$
- 2x open → grond: B – K – B 1e boventoon: B – K – B – K – B
- $f_1 = 2 \cdot f_0$
- 1x open en 1x gesloten → grond: K – B 1e boventoon: K – B – K – B
- $f_1 = 3 \cdot f_0$
- er is één open en één gesloten uiteinde

b Zijn er twee gesloten uiteinden, twee open uiteinden, één open en één gesloten uiteinde, of geen van drie?
- 2e boventoon dicht–dicht: K – B – K – B – K – B – K
- 2e boventoon open–open: B – K – B – K – B – K – B
- 2e boventoon dicht–open: K – B – K – B – K – B
- bij open–open en bij dicht–dicht geldt: $f_2 = 3 \cdot f_0$
- bij dicht–open geldt: $f_2 = 5 \cdot f_0$
- f_2 is nooit 4 keer zo groot als f_0
- geen van drie is mogelijk

19**** **a** Bereken de kleinste afstand x waarbij resonantie optreedt. Geef de uitkomst in drie cijfers achter de komma.

- $f = 500\,\text{Hz} \quad | \quad v_{golf} = 343\,\text{m/s} \quad | \quad \lambda = \ldots\,\text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = 500 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 0{,}686\,\text{m}$
- grondtoon: K – B
- $\ell = \frac{1}{4}\lambda$
- $\ell = \frac{1}{4} \cdot 0{,}686 = 0{,}1715\,\text{m}$
- buik ligt 2,4 cm boven de rand
- $x = \ell - 0{,}024 \quad \rightarrow \quad x = 0{,}1715 - 0{,}024 = 0{,}1475 = 0{,}148\,\text{m}$

b Bereken hoeveel cm het waterniveau hierbij is gedaald.

- 1e boventoon dicht–open: K – B – K – B
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $\ell = \frac{3}{4} \cdot 0{,}686 = 0{,}5145\,\text{m}$
- buik ligt 2,4 cm boven de rand
- $x = \ell - 0{,}024 \quad \rightarrow \quad x = 0{,}5145 - 0{,}024 = 0{,}4905\,\text{m}$
- $x_{nieuw} - x_{oud} = 0{,}4905 - 0{,}1475 = 0{,}343\,\text{m}$

Examenvragen havo

Blokfluit

4p **a** Bereken de frequentie van de laagste toon.

- grondtoon: $B - K - B = \frac{1}{2}\lambda$ 1
- $\frac{1}{2}\lambda = \ell + 0{,}30 \cdot d \;\rightarrow\; \lambda = 2 \cdot (0{,}325 + 0{,}3 \cdot 0{,}022) = 0{,}6632\ \text{m}$ 1
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$ met $v_{golf} = 343\ \text{m/s}$ 1
- $343 = f \cdot 0{,}6632 \;\rightarrow\; f = 517{,}189 = 517\ \text{Hz}$ 1

2p **b** Bereken de constante C in deze formule.

- $20\ ^\circ\text{C} = 293{,}15\ \text{K}$ 1
- $v_{golf} = C \cdot \sqrt{T} \;\rightarrow\; 343 = C \cdot \sqrt{293{,}15} \;\rightarrow\; C = 20{,}03315 = 20{,}0\ \text{m s}^{-1}\ \text{K}^{-1}$ 1

3p **c** Leg uit of deze afstand groter dan wel kleiner moet worden gemaakt.

- $v_{golf} = C \cdot \sqrt{T} \;\rightarrow$ als de temperatuur stijgt wordt v groter 1
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$ $\rightarrow$ v_{golf} wordt groter en f moet gelijk blijven $\rightarrow$ λ moet groter worden 1
- $B - K - B = \frac{1}{2}\lambda$ $\rightarrow$ de afstand van B_1 tot B_2 moet groter worden 1

5p **d** Breken hoever het mondstuk moet worden verschoven om ervoor te zorgen dat de laagste toon dezelfde frequentie behoudt.

- $T - 273{,}15 + 25 = 298{,}15\ \text{K}$ | $C = 20{,}03315\ \text{m s}^{-1}\ \text{K}^{-1}$ | $v = \ldots\ \text{m/s}$
- $v = C \cdot \sqrt{T} \;\rightarrow\; v = 20{,}03315 \cdot \sqrt{298{,}15} \;\rightarrow\; v = 345{,}9128\ \text{m/s}$ 1
- $v_{golf} = 345{,}9128\ \text{m/s}$ | $f = 517{,}189\ \text{Hz}$ | $\lambda = \ldots\ \text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \;\rightarrow\; 345{,}9128 = 517{,}189 \cdot \lambda \;\rightarrow\; \lambda = 0{,}6688325\ \text{m}$ 1
- $\frac{1}{2}\lambda = \ell + 0{,}30 \cdot d \;\rightarrow\; 0{,}5 \cdot 0{,}6688325 = \ell + 0{,}3 \cdot 0{,}022$ 1
- $0{,}5 \cdot 0{,}6688325B = \ell + 0{,}3 \cdot 0{,}022 \;\rightarrow\; \ell = 0{,}327816\ \text{m}$ 1
- verschil $0{,}327816 - 0{,}325 = 2{,}81625 \cdot 10^{-3} = 2{,}8 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$ (2,8 mm) 1

Gitaar

3p **a** Bereken de snelheid waarmee de trilling zich in de E-snaar voortplant als deze is aangeslagen.

- grondtoon: $K - B - K = \frac{1}{2}\lambda$ 1
- gebruik $v_{golf} = f \cdot \lambda$ met $\lambda = 2 \cdot 0{,}65 = 1{,}3\ \text{m}$ 1
- $v_{golf} = 330 \cdot 1{,}3 = 429\ \text{m/s}$ 1

4p **b** Geef in figuur 1 met een pijl de fret aan die bij een toon van 494 Hz hoort. Licht je keuze toe met een berekening.

- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow 429 = 494 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0{,}868421$ m 1
- knopen bij P en bij fret → afstand $K - fret = \frac{1}{2}\lambda = 0{,}4342105$ m 1
- opmeten afstand $P - Q = 8{,}7$ cm $\rightarrow$ $P - fret = \dfrac{0{,}43421}{0{,}65} \cdot 8{,}7 = 5{,}8116$ cm 1
- de juiste fret ligt in figuur 1 op 5,8 cm van punt P
- dit correspondeert met de 7^e fret van rechts (naast de aangegeven fret) 1

Aardbeving

2p **a** Noem het verschil tussen longitudinale en transversale golven.

- longitudinale golven: de trilling heeft dezelfde richting als de bewegingsrichting van de golf 1
- transversale golf: de richting van de trilling staat loodrecht op de bewegingsrichting van de golf 1

3p **b** Bereken de golflengte van de transversale golven in dit gesteente.

- gebruik $v_{golf} = f \cdot \lambda$ 1
- omrekenen: $3{,}4$ km/s $= 3400$ m/s 1
- $3400 = 1{,}2 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 2833 = 2{,}8 \cdot 10^3$ m $(= 2{,}8$ km$)$ 1

4p **c** Bereken de veerconstante van de veer.

- $T = \dfrac{1}{f} \rightarrow T = \dfrac{1}{0{,}37} = 2{,}7027$ s 1
- gebruik: $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{C}}$ 1
- $2{,}7027 = 2\pi \cdot \sqrt{\dfrac{4{,}2}{C}} \rightarrow \left(\dfrac{2{,}7027}{2\pi}\right)^2 = \dfrac{4{,}2}{C}$ 1
- $C = 22{,}699 = 23$ N/m 1

4p **d** Bepaal de gemiddelde snelheid van de longitudinale golven. Geef het antwoord in twee significante cijfers.

- de L-golven komt 3,5 minuten eerder aan dan de T-golven 1
- T-golven: $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 2{,}3 \cdot 10^6 = 3{,}4 \cdot 10^3 \cdot t \rightarrow t = 647$ s 1
- de L-golven doen er $647 - 3{,}5 \cdot 60 = 437$ s over 1
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 2{,}3 \cdot 10^6 = v_{golf\,L} \cdot 437 \rightarrow v_{golf\,L} = 5{,}263 \cdot 10^3 = 5{,}3 \cdot 10^3$ m/s 1
  (marge 0,3 km/s)

Echoscopie

3p **a** Bepaal met behulp van figuur 2 de golflengte van dit ultrageluid in het vetweefsel. Geef de uitkomst in drie significante cijfers.

- aflezen: twee trillingen duren $1{,}00 \cdot 10^{-6}$ s $\rightarrow T = \dfrac{1{,}0 \cdot 10^{-6}}{2} = 5{,}00 \cdot 10^{-7}$ s 1
- $T = 5{,}0 \cdot 10^{-7}$ | $v_{golf} = 1450$ m/s | $\lambda = \ldots$ m
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow \lambda = v_{golf} \cdot T$ 1
- $\lambda = 1450 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-7} = 7{,}25 \cdot 10^{-4}$ m 1

3p **b** Bepaal met behulp van figuur 2 hoe dik het vetweefsel is tussen de probe en de baarmoederwand.

- aflezen bij voorkanten van golven: om het weefsel 2 keer te passeren (heen en terug) heeft het geluid $21 \cdot 10^{-6}$ s nodig 1
- $v_{golf} = 1450$ m/s | $t = 21 \cdot 10^{-6}$ s | $s = \ldots$ m
- $s = v_{gem} \cdot t$ 1
- $s = 1450 \cdot 21 \cdot 10^{-6} = 3{,}045 \cdot 10^{-2}$ m
- dikte vetlaag: $\frac{1}{2} s = 0{,}5 \cdot 3{,}045 \cdot 10^{-2} = 1{,}5225 \cdot 10^{-2} = 1{,}52 \cdot 10^{-2}$ m (1,52 cm) 1

Kerkorgel (aangepast)

4p **a** Bepaal de frequentie van deze toon.

- aflezen: 4 trillingen in 42 ms (minimaal 3 perioden gebruiken) 1
- $T = \dfrac{42}{4} = 10{,}5 \text{ ms} = 10{,}5 \cdot 10^{-3}$ s (marge 0,2 ms) 1
- gebruik: $f = \dfrac{1}{T}$ 1
- $f = \dfrac{1}{10{,}5 \cdot 10^{-3}} = 95{,}238 = 95$ Hz 1

2p **b** Wie van hen heeft gelijk? Licht je mening toe.

- de sinus van de grondtoon wordt door de boventonen vervormd 1
- Nynke heeft gelijk 1

4p **c** Bereken met deze gegevens de geluidssnelheid in lucht.

- inzicht: $\ell = \frac{1}{4}\lambda$ 1
- $\lambda = 4 \cdot \ell \rightarrow \lambda = 4 \cdot 0{,}387 = 1{,}548$ m 1
- gebruik $v_{golf} = f \cdot \lambda$ 1
- $v_{golf} = 220 \cdot 1{,}548 = 340{,}56 = 341$ m/s 1

3p **d** Leg uit welke van de drie open pijpen A, B of C dezelfde grondtoon heeft als de gesloten pijp.

- inzicht: λ is voor beide pijpen hetzelfde (want v_{golf} en f zijn hetzelfde) 1
- inzicht: $\lambda = 4\cdot \ell_{gesloten}$ en $\lambda = 2\cdot \ell_{open}$ $\rightarrow$ $\ell_{open} = 2\cdot \ell_{gesloten}$ 1
- pijp C is twee keer zo lang als de gesloten pijp, dus pijp C geeft dezelfde grondtoon 1

Echoput

4p **a** Toon aan dat deze meting bevestigt dat het wateroppervlak zich 86 m onder de rand van de put bevindt. Neem aan dat de temperatuur van de lucht in de put 20 °C is.

- tijdsverschil tussen klap en echo: $\Delta t = 0{,}55 - 0{,}05 = 0{,}50$ s 1
- opzoeken $v_{geluid} = 343\ m/s$ v_{geluid} 1
- $s = v_{gem}\cdot t$ $\rightarrow$ $s = 343\cdot 0{,}5 = 171{,}5\ m$ 1
- Δx is 2 keer de diepte $\rightarrow$ diepte is $\frac{171{,}5}{2} = 85{,}75 = 86\ m$ 1

4p **b** Bereken de tijd tussen het loslaten van de steen en het horen van de plons. Verwaarloos de luchtwrijving op de steen.

- steen maakt een vrije val over 85,75 m
- $v_{eind} = a\cdot t$ $\rightarrow$ $v_{gem} = \frac{1}{2}\cdot a\cdot t$
- $s = v_{gem}\cdot t$ $\rightarrow$ $s = \frac{1}{2}a\cdot t^2$ met $a = 9{,}81\ m/s^2$ 1
- $85{,}75 = \frac{1}{2}\cdot 9{,}81\cdot t^2$ $\rightarrow$ $t = 4{,}181167\ s$ 1
- het geluid moet 85,75 m afleggen en dit duurt 0,25 s (zie figuur) 1
- totale tijd: $4{,}181167 + 0{,}25 = 4{,}431167 = 4{,}4\ s$ 1

3p **c** Leg uit welke van deze twee uitspraken, de onderste of de bovenste, het beste "ezel" als antwoord geeft.

- nadat Nienke is uitgesproken hoort ze nog gedurende 0,50 s de echo 1
- in de bovenste registratie duurt "ezel" ongeveer 0,50 s en in de onderste veel langer 1
- bij de bovenste uitspraak hoort Nienke dus "ezel" 1

4p **d** Geef hiervoor een verklaring. Bereken daartoe eerst de frequentie van de grondtoon van deze 'orgelpijp'.

- grondtoon $\rightarrow$ knoop op de bodem en een buik boven $\rightarrow$ $K - B = \ell = \frac{1}{4}\lambda$ 1
- $\frac{1}{4}\lambda = \ell$ $\rightarrow$ $\lambda = 4\cdot 85{,}75 = 343\ m$ 1
- $v_{golf} = 343\ m/s$ $\rightarrow$ $\lambda = 343\ m$ | $f = \ldots Hz$
- $343 = f\cdot 343$ $\rightarrow$ $f = 1{,}0\ Hz$ 1
- lager dan 20 Hz kan een mens niet horen $\rightarrow$ kan 1,0 Hz niet horen 1

Buis van Rubens

1p **a** Welke van de afstanden, x of y, is gelijk aan één hele golflengte?

- afstand $B-K=\frac{1}{4}\lambda$
- afstand $y=4\cdot\frac{1}{4}\lambda=\lambda$ 1

4p **b** Bepaal de voortplantingssnelheid van het geluid in aardgas.

- opmeten in figuur 1: $3\cdot\lambda=8{,}5\text{ cm} \rightarrow \lambda=\dfrac{8{,}5}{3}=2{,}83\text{ cm}$ 1
- opmeten in figuur 1: $11{,}2\text{ cm} \leftrightarrow 202\text{ cm} \rightarrow 1{,}0\text{ cm}=\dfrac{202}{11{,}2}=18{,}0\text{ cm}$
- $\lambda=18\cdot2{,}83=51\text{ cm}=0{,}51\text{ m}$ 1
- $v_{golf}=f\cdot\lambda$ 1
- $v_{golf}=890\cdot0{,}51=453{,}9=454\text{ m/s}$ (marge 20 m/s) 1

4p **c** Beantwoord de volgende vragen:
– Geef een verklaring voor het verdwijnen van de resonantie.
– Moet Marc een grotere of juist een kleinere frequentie instellen om hetzelfde golfpatroon weer terug te krijgen? Licht je antwoord toe.

- als de vlammetjes een tijdje branden stijgt de temperatuur van het gas 1
- de golflengte past dan niet meer bij de lengte van de buis 1
- de golflengte moet kleiner worden 1
- de frequentie moet groter worden

Rugzakgenerator

3p **a** Bepaal met behulp van figuur 1 het verschil tussen de maximale en minimale zwaarte-energie van de rugzak.

- aflezen: $\Delta h=1{,}167-1{,}113=0{,}054\text{ m}$ 1
- $\Delta E_z=m\cdot g\cdot\Delta h$ 1
- $\Delta E_z=29\cdot9{,}81\cdot0{,}054=15{,}36=15\text{ J}$ 1

3p **b** Bepaal met behulp van figuur 1 de horizontale snelheid van de wandelaar in km/h.

- aflezen: één stap duurt 0,52 s 1
- $v_{gem}=\dfrac{s}{t}$ 1
- $v_{gem}=\dfrac{0{,}7}{0{,}52}=1{,}346\text{ m/s}=1{,}346\cdot3{,}6=4{,}846=4{,}8\text{ km/h}$ 1

2p **c** Bepaal met behulp van figuur 3 de grootte van de amplitude A. Licht toe hoe je de grootte van A hebt bepaald.

- de amplitude is gelijk aan de maximale afstand tussen de grafieken van de rugzak en het frame
- aflezen: $A=2{,}4\text{ cm}$ (marge 0,2 cm)

3p **d** Bereken de hoeveelheid energie die is opgewekt na 3,5 uur lopen.
- $t = 3{,}5 \cdot 3600 = 12600$ s — 1
- $E = P \cdot t$ — 1
- $E = 3{,}7 \cdot 12600 = 46620 = 4{,}7 \cdot 10^4$ J — 1

3p **e** Bereken de eigenfrequentie van de rugzak.
- $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{C}}$ — 1
- $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{29}{4{,}1 \cdot 10^3}} = 0{,}52843$ s — 1
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{0{,}52843} = 1{,}8924 = 1{,}9\ \text{Hz}$ — 1

2p **f** Moet hij daarvoor de massa groter of kleiner maken? Licht je antwoord toe.
- stapfrequentie wordt groter $\rightarrow$ T_{eigen} moet kleiner worden — 1
- $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{C}} \quad \rightarrow$ m moet kleiner worden — 1

Loopbrug

2p **a** Bepaal de amplitude van de trilling die de voet van de professor uitvoert.
- aflezen: maximum: $s_{max} = 1{,}16$ m ; minimum: $s_{min} = 0{,}43$ m
- verschil: $s_{max} - s_{min} = 1{,}16 - 0{,}43 = 0{,}73$ m — 1
- amplitude: $A = \dfrac{s_{max} - s_{min}}{2} = \dfrac{0{,}73}{2} = 0{,}365 = 0{,}37$ m (marge 0,01 m) — 1

2p **b** Bepaal de frequentie van de trilling die de voet van de professor uitvoert.
- aflezen drie trillingen: $T = \dfrac{14{,}3 - 8{,}9}{3} = 1{,}8$ s — 1
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{1{,}8} = 0{,}5555 = 0{,}56\ \text{Hz}$ — 1

4p **c** Bepaal maximale snelheid van de voet van de professor.
- de snelheid correspondeert met de steilheid van de raaklijn aan de grafiek — 1
- de snelheid is maximaal als de voet door de evenwichtsstand gaat — 1
- teken een lange raaklijn en lees Δs en Δt af — 1
- $v_{max} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{1{,}20 - 0{,}30}{10{,}55 - 9{,}85} = 1{,}3\ \text{m/s}$ (marge 0,2 m/s) — 1

OOK GOED
- de grafiek is sinusvormig $\rightarrow$ de trilling is harmonisch — 1
- $v_{max} = \dfrac{2\pi \cdot A}{T}$ — 1
- A = 0,37 m ; T = 1,8 s — 1
- $v_{max} = \dfrac{2\pi \cdot 0{,}37}{1{,}8} = 1{,}2915 = 1{,}3\ \text{m/s}$ — 1

3p **d** Bereken de voortplantingssnelheid van de lopende golven in de brug.

- aflezen in figuur 2: $\lambda = 28$ m 1
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$ 1
- $v_{golf} = 0{,}56 \cdot 28 = 15{,}68 = 16$ m/s 1

3p **e** Teken in figuur 3 de uiterste standen van de staande golf die bij deze frequentie in de brug ontstaat. Licht je tekening toe met een berekening of een redenering.

- verhouding $\frac{f_{nieuw}}{f_{oud}} = \frac{0{,}84}{0{,}56} = 1{,}5$ 1
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$, v_{golf} verandert niet, f wordt 1,5 keer groter $\rightarrow \lambda$ wordt 1,5x kleiner 1
- teken de uiterste standen van de staande golf 1

OOK GOED

- $v_{golf} = f \cdot \lambda$; v_{golf} = 15,68 m/s (verandert niet)
- $15{,}68 = 0{,}84 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 18{,}666$ m 1
- $1{,}5 \cdot 18{,}666 = 28$, λ_{nieuw} past anderhalf keer in de lengte van de brug 1
- teken de uiterste standen van de staande golf 1

1p **f** Leg uit waarom dat een goed advies is.

- als de stapfrequentie in de buurt ligt van een eigenfrequentie van de brug komt de brug in resonantie en wordt de amplitude heel groot waardoor de brug kan instorten 1

Harp

3p **a** Bereken de frequentie van de grondtoon van deze snaar.

- grondtoon: K – B – K
- $\ell = 2 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{2}\lambda$
- $0{,}45 = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \lambda = 0{,}90$ m 1
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$ 1
- $4{,}0 \cdot 10^2 = f \cdot 0{,}90 \rightarrow f = 444{,}44 = 4{,}4 \cdot 10^2$ Hz 1

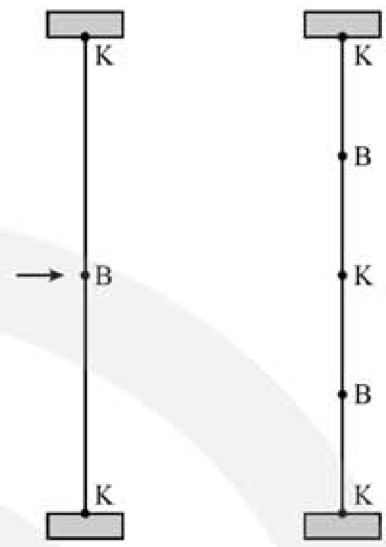
2p **b** Leg uit of een langere snaar een hogere of een lagere grondtoon geeft.

- de golflengte wordt groter bij een langere snaar 1
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$: λ wordt groter $\rightarrow$ f wordt kleiner $\rightarrow$ toon wordt lager 1

3p **c** Voer de volgende opdrachten uit:
– Geef in figuur 3 de plaats van de knoop/knopen (K) en buik/buiken (B) aan bij een snaar die trilt in de grondtoon.
• grondtoon: twee knopen en één buik op de juiste plaats 1

– Geef in figuur 3 de plaats van de knoop/knopen (K) en buik/buiken (B) aan bij een snaar die trilt in de eerste boventoon.
• 1ᵉ boventoon: drie knopen en twee buiken op de juiste plaats 1

– Geef in de tekening van de grondtoon met een pijltje aan waar de harpist de snaar licht gedempt heeft.
• pijltje halverwege de snaar in de grondtoon 1



grondtoon eerste boventoon

3p **d** Laat zien dat $\sqrt{\dfrac{F_s \cdot \ell}{m}}$ dezelfde eenheid heeft als v.
• eenheid spankracht $N = \mathbf{kg} \cdot \dfrac{m}{s^2}$ 1
• eenheid: $\left[\dfrac{F_s \cdot \ell}{m}\right] = \dfrac{kg \cdot \dfrac{m}{s^2} \cdot m}{kg} = \dfrac{m^2}{s^2}$ 1
• eenheid: $\sqrt{\dfrac{F_s \cdot \ell}{m}} = \dfrac{m}{s}$ 1

3p **e** Welke snaar geeft de hoogste toon? Licht je antwoord toe.
• de massa van een nylon snaar is kleiner dan die van een stalen snaar 1
• de golfsnelheid in de nylon snaar is groter dan die in de stalen snaar 1
• λ blijft gelijk $\rightarrow$ v_{golf} wordt groter $\rightarrow$ f wordt groter $\rightarrow$ nylon heeft de hoogste toon 1

2p **f** Beantwoord nu de volgende vragen:
– Op welk natuurkundig verschijnsel is deze demonstratie gebaseerd?
– Wat is de rol van de houten stok bij deze demonstratie?
• de demonstratie is gebaseerd op resonantie 1
• de houten stok geeft de trilling van de piano door aan de harp 1

Parasaurolophus

1p **a** Op welk natuurkundig verschijnsel is dit gebaseerd?
• op resonantie 1

3p **b** Toon met een berekening aan dat de grondtoon die de dino met deze hoorn kon laten horen een frequentie had van 48 Hz.

- grondtoon: K – B
- $\ell = 1 \cdot \frac{1}{4}\lambda \rightarrow 1{,}8 = \frac{1}{4}\lambda \rightarrow \lambda = 7{,}2\,\text{m}$ 1
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$ met $v_{golf} = 343$ m/s 1
- $343 = f \cdot 7{,}2 \rightarrow f = 47{,}64 = 48$ Hz 1

3p **c** Beredeneer of dit de eerste, de tweede, de derde, de vierde of de vijfde boventoon is.

- $\dfrac{f_{boventoon}}{f_{grondtoon}} = \dfrac{240}{48} = 5$ 1
- grondtoon: K – B $\ell = 1 \cdot \frac{1}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \frac{4}{1} \cdot \ell$
- 1e boventoon: K – B – K – B $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \frac{4}{3} \cdot \ell$
- 2e boventoon: K – B – K – B – K – B $\ell = 5 \cdot \frac{1}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \frac{4}{5} \cdot \ell$
- bij open–gesloten verhouden de frequenties zich als 1 : 3 : 5 1
- het gaat om de tweede boventoon 1

2p **d** Leg uit of de grondtoon van een vrouwelijke Parasaurolophus hoger, lager of even hoog was als die van een mannelijk dier.

- de hoorn van een vrouwelijke Parasaurolophus is korter $\rightarrow \lambda$ is kleiner 1
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$: λ wordt kleiner $\rightarrow$ f wordt groter $\rightarrow$ toon wordt hoger 1

3p **e** Beredeneer of voor deze dieren de grondtoon of juist de boventonen het meest geschikt waren om in bossen te communiceren.

- de grondtoon heeft een grotere golflengte dan een boventoon 1
- de golflengte moet groter zijn dan de breedte van de boom 1
- de grondtoon is meer geschikt om in bossen te communiceren 1

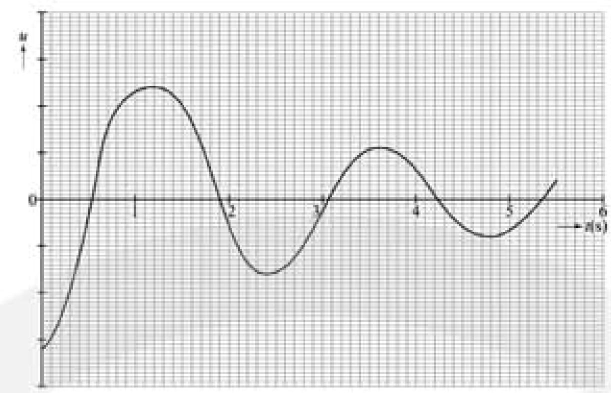
Railbaan

2p **a** Leg uit welk tijdsinterval overeenkomt met de trillingstijd van deze beweging.

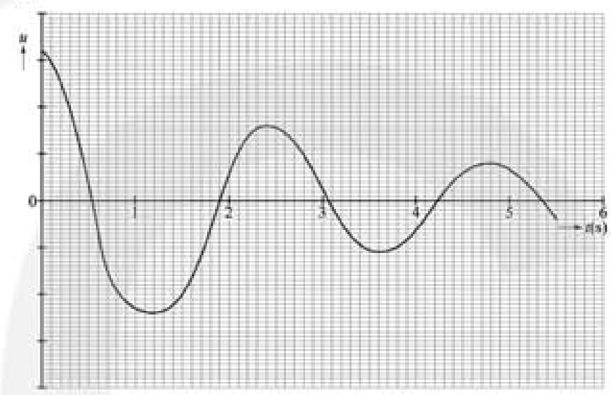
- na 1,2 s in het hoogste punt rechts en na 2,4 s weer in hoogste punt links 1
- D komt overeen met de trillingstijd 1

4p **b** Schets in figuur 3 het (u,t)-diagram van deze beweging tussen t = 0 s en t = 5,5 s. De schaalverdeling op de verticale as is niet van belang.

- de amplitude neemt af 1
- de trillingstijd verandert niet gedurende 5,5 s 1
- de uitwijking is maximaal (of minimaal) als de hoogte boven de rail maximaal is 1
- juiste nulpunten

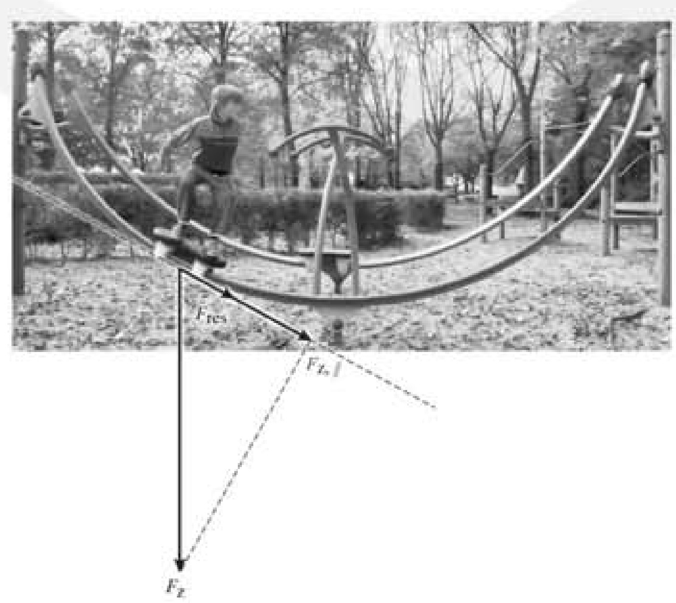


of



5p **c** Voer de volgende opdrachten uit:
- Construeer in figuur 4 de component van de zwaartekracht langs de railbaan.
- Bepaal met behulp van figuur 4 de grootte van de wrijvingskracht (in Newton) langs de railbaan op het moment van de foto.

- $F_Z = 5{,}4\,\text{cm} \leftrightarrow 31 \cdot 9{,}81 = 304{,}11\,\text{N} \quad \rightarrow \quad 1\,\text{cm} = 56{,}32\,\text{N}$ 1
- teken vanuit F_Z de lijn loodrecht op de raaklijn om $F_{Z,//}$ te bepalen 1
- $F_W = F_{Z,//} - F_{res}$ 1
- lengte $F_W = 1{,}4$ cm (marge 0,2 cm) 1
- dit komt movereen met $1{,}4 \cdot 56{,}32 = 78{,}8 = 79\,\text{N}$ 1



3p **d** Bepaal met behulp van figuur 5 de afstand die hij dan langs de baan heeft afgelegd.

- afgelegde afstand is de oppervlakte onder de (v, t)-grafiek 1
- oppervlakte bepalen tussen t = 0 en t = 1,2 s 1
- afstand is 2,5 m (marge 0,4 m)

Slinger van Wilberforce

3p **a** Bereken de kracht van de veer die dan op het blok werkt.

- zwaartekracht: $F_z = m \cdot g \rightarrow F_z = 2{,}8 \cdot 9{,}81 = 27{,}468\,N$ 1
- 9,0 cm omlaag trekken: $F_{veer} = C \cdot u \rightarrow F_{veer} = 49 \cdot 0{,}09 = 4{,}41\,N$ 1
- $F = F_z + F_{veer} \rightarrow F = 27{,}468 + 4{,}41 = 31{,}878 = 32\,N$ 1

3p **b** Toon dit aan met behulp van een berekening.

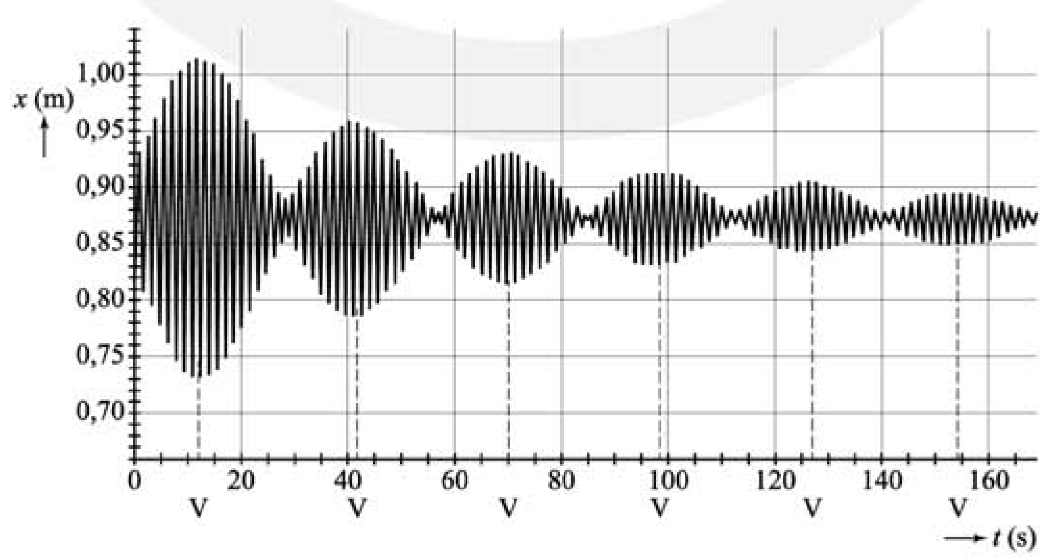
- gebruik: $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{C}}$ 1
- $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{2{,}8}{49}} \rightarrow T = 1{,}50197\ s$ 1
- $f = \dfrac{1}{T} \rightarrow f = \dfrac{1}{1{,}50197} = 0{,}6658 = 0{,}67\ Hz$ 1

1p **c** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de afstand van de onderkant van het blok tot de sensor, als het blok tot stilstand is gekomen.

- aflezen: 0,87 m (marge 0,5 cm) 1

2p **d** Geef in de figuur op de uitwerkbijlage met de letter V alle tijdstippen aan waarop het blok alléén verticaal op en neer beweegt en niet draait.

- het gewicht beweegt alleen verticaal als de uitwijking maximaal is 1
- alle 6 tijdstippen juist aangegeven 1



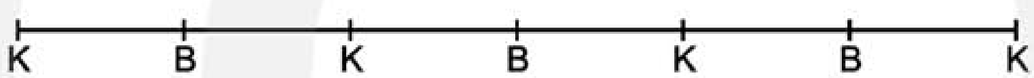
4p **e** Beantwoord nu de volgende vragen:
– Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de draaifrequentie van de slinger van Wilberforce. Licht je antwoord toe.
– Leg uit of er bij de slinger van Wilberforce sprake is van resonantie.

- aflezen: het gewicht draait 20 keer in 30 seconden $\rightarrow$ T = 1,5 s (minstens 5 trillingen aflezen) 1
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{1{,}5} = 0{,}6667 = 0{,}67\ \text{Hz}$ 1
- de draaifrequentie is gelijk aan de frequentie waarmee de veer op en neer gaat 1
- er is dus sprake van resonantie 1

Vleugel

2p **a** Geef in figuur 2 de plaats van de knopen en de buiken op deze snaar aan als de snaar trilt in de tweede boventoon.

- 4 knopen en 3 buiken afwisselend 1
- afstand tussen K en B is constant 1



1p **b** Welke boventoon klinkt dan niet mee?

- B zevende boventoon 1

3p **c** Toon met een berekening aan dat de lengte die de langste snaar dan zou moeten hebben niet in een vleugel past.

- inzicht $v_{golf} = f \cdot \lambda$ met $v_{golf} = \text{constant}$ 1
- inzicht ℓ is recht evenredig met λ 1
- $f = \frac{4186}{32{,}70} = 128$ keer zo klein $\rightarrow$ lengte is $128 \cdot 04 = 51{,}2\ \text{m}$ dus te lang

1

OOK GOED

- vast–vast $\rightarrow \lambda = 2 \cdot 0{,}4 = 0{,}80\ \text{m}$ 1
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad v_{golf} = 4186 \cdot 0{,}8 = 3348\ \text{m/s}$ 1
- $3348 = 32{,}7 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 102{,}41\ \text{m} \quad \rightarrow \quad \ell = \frac{\lambda}{2} = 51{,}2\ \text{m}$ dus te lang 1

2p **d** Geef van elke bewering aan of deze bewering juist of onjuist is.

- 1 punt per goed antwoord

	bewering	juist	onjuist
1	De grondtoon van een snaar wordt lager als je de snaar strakker spant.		x
2	Als een snaar van roestvrij staal vervangen wordt door een snaar van koper, wordt de grondtoon lager. (De spankracht en de diameter veranderen niet.)	x	

4p **e** Bereken de spankracht in deze snaar.

- $\lambda = 2 \cdot 0{,}9 = 1{,}80\ \mathrm{m}$ 1
- $v_{golf} = 220 \cdot 1{,}8 = 396\ \mathrm{m/s}$ 1
- gebruik $v = \sqrt{\dfrac{F_s \cdot \ell}{m}}$ met m in kg 1
- $396 = \sqrt{\dfrac{F_s \cdot 0{,}90}{5{,}7 \cdot 10^{-3}}} \rightarrow F_s = 993{,}168 = 9{,}9 \cdot 10^2\ \mathrm{N}$ 1

4p **f** Ga met een berekening na welke noot van de vleugel bij deze snaar hoort.

- opzoeken roestvrij staal: $\rho = 7{,}8 \cdot 10^3\ \mathrm{kg/m^3}$ 1
- gebruik $F_s = \pi\, \rho\, \ell^2\, d^2\, f^2$ 1
- $949 = \pi \cdot 7{,}8 \cdot 10^3 \cdot 0{,}8^2 \cdot (0{,}94 \cdot 10^{-3})^2 \cdot f^2 \rightarrow f = 261{,}7\ \mathrm{Hz}$ 1
- dit is c1 op de vleugel 1